رسائل جغرافية

بعض الأخطار الطبيعية على الطرق البرية

في شمال سلطنة عمان

دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية

دكتور أحمد عبد السلام علي

رمضان ١٤٢١ هـ
ديسمبر ٢٠٠٠ م

٢٤٧

دورية علمية محكمة تعنى بالبحوث الجغرافية
يصدرها قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية

الاشتراكات

في الكويت	خارج الكويت
للمؤسسات ١٢ دينارا كويتيا (سنويا)	للمؤسسات ١٥ دينارا كويتيا (سنويا)
للأفراد ٦ دنانير كويتية (سنويا)	للأفراد ٧.٥ دينار كويتي (سنويا)

الجمعية الجغرافية الكويتية
ص.ب: ١٧٠٥١ الكويت الخالدية الرمز البريدي 72451

رسائل جغرافية
٢٤٧

بعض الأخطار الطبيعية على الطرق البرية

في شمال سلطنة عمان

دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية

دكتور أحمد عبد السلام علي
مدرس الجغرافيا الطبيعية والخرائط بجامعتي السلطان قابوس والمنوفية

رمضان ١٤٢١ هـ
ديسمبر ٢٠٠٠ م

بسم الله الرحمن الرحيم

بعض الأخطار الطبيعية على الطرق البرية

في شمال سلطنة عمان

دراسة في الجيمورفولوجيا التطبيقية

دكتور أحمد عبد السلام علي

مقدمة

تعتبر الدراسات الجيمورفولوجية التطبيقية من الموضوعات الهامة التي يمكن أن تضفي على علم الجغرافيا أهمية وحيوية، وتجعل من علم الجغرافيا علماً يرتبط بمشاكل الإنسان ويهتم باقتراح حلول لها. وتوجد علاقة وثيقة بين إقامة المنشآت والطرق والمناطق العمرانية من جهة وبين عوامل تشكيل سطح الأرض الطبيعية من جهة أخرى حيث تؤثر العوامل الطبيعية بصورة مباشرة وغير مباشرة على مواقع إقامتها وخصائصها المختلفة. لذلك أصبح من الضروري دراسة العوامل الطبيعية المؤثرة على العمران بصفة عامة قبل الشروع في إقامتها وتفادي الأخطار التي يمكن أن تنجم عن هذه العوامل التي يتحتم علينا تطويعها إذا لزم الأمر التعايش معها. ويهدف البحث في المقام الأول إلى إظهار أهمية دراسة العوامل الطبيعية وتحليلها وإظهار مدى تأثيرها خاصة على الطرق البرية. كما تهدف أيضاً إلى إلقاء الضوء على المخاطر لكي يمكن تجنبها عند إقامة مشاريع تالية.

تتعدد الأخطار الطبيعية وتختلف من مكان إلى آخر من العالم تبعاً للعوامل والعمليات التي تحدثها، كما تختلف درجات خطورتها وتأثيرها على المناطق التي تتعرض لها. وتختلف المعايير التي على أساسها يمكن تصنيف الأخطار الطبيعية، فقد ذكر Gardiner عام ١٩٧٧ أن تعبير الأخطار

الطبيعية يطلق على العمليات التي تسبب خسائر كبيرة ويكون نتيجتها الحاجة إلى الإعانات، والبعض الآخر حدد الأخطار الطبيعية عندما تؤدي عناصر البيئة إلى الإضرار بأنشطة الإنسان بصورة مفاجئة (Burton and Kates, 1964)، كما فسرها (Kates, 1978) أيضاً بأنها تفاعل بين الطبيعة والمجتمع البشري يؤدي في النهاية إلى إحداث أضرار خطرة بالبيئة وأنشطة الإنسان (http: // www. qub. ac. uk.).

وتقاس الأخطار الطبيعية بعدد من المعايير منها امتداد مساحة المناطق التي تأثرت ودمرت وحدث بها العملية، إضافة إلى عدد حالات الإصابة وحجم المواد التي دمرت (Govornshko, 1999)، وتكمن مشكلة تصنيف الأخطار الطبيعية في تعدد النقاط التي يمكن أن تصنف على أساسها، إضافة إلى صعوبة وضع معايير لتسجيل المعدلات التي تحدث بها ويمكن أن نعرف من خلالها أن هذه العمليات عادية أو غير عادية (SMITH, 1992)، وأهم مدخل للتصنيف هو :

- على أساس طاقة العامل المؤدى للخسائر Energy involved
- على أساس تكرار الخسائر وعدد مرات ترددها Duration or Frequency (http:// www. Qub. ac. uk.).

ولكي يمكن توقع حدوث الأخطار الطبيعية يجب أن يأخذ في الاعتبار حجم المناطق التي يحتمل حدوث الخطر عليها، والسرعة التي يتحرك بها الخطر، والمساحة التي يغطيها وعرض المنطقة التي يتحرك عليها، كذلك تحديد عناصر الخطورة التي تتوزع بسرعة بالإضافة إلى تقدير حجم الخسائر الناجمة عنها (Oldrich, 1998).

لذلك يمكن القول إن الأخطار الطبيعية بصفة عامة هي أحداث تتم بشكل فجائي ناتجة عن عوامل طبيعية أو ناتجة عن عوامل طبيعية أثر عليها الإنسان بتدخلاته مما أدى إلى تغيرات في خصائصها، هذه الأحداث تؤدي إلى تدمير

كلي أو جزئي في البيئة، كما أنها تضر بالإنسان وأنشطته، ويتطلب ذلك مواجهة آثارها من وقت إلى آخر تبعاً لتكرار هذه الأحداث والأضرار، مما يؤدي إلى ارتفاع تكلفة المواجهة التي قد تزيد عن طاقة تحمل المنطقة المصابة فيتطلب ذلك التدخل والإعانة الخارجية. مما سبق من معايير وتعاريف يمكن أن نؤكد أن ما يحدث في منطقة الدراسة، وما سنتناوله بالدراسة من سيول وزحف مفتتات وتساقط صخري يدخل ضمن ما يعرف بالأخطار الطبيعية، فهي تؤدي إلى التدمير الجزئي وأحياناً التدمير الكلي في مساحات كبيرة من عمان وفي مناطق حيوية، كما أنها تزيد من تكلفة الإنشاء وإعادة الصيانة والبناء قبل حدوثها وبعد حدوثها، كما أنها تؤدي إلى حدوث إصابات وإزهاق الأرواح في بعض الأحيان.

وتتمثل أهمية الدراسة الحالية في أن سلطنة عمان - خاصة قسمها الشمالي والجنوبي - تتميز ببيئة جبلية وعرة تقطعها الأودية الكبيرة، وتتركز دراستنا على القسم الشمالي من عمان فقط نظراً للتركز العمراني والسكاني الكبيرين، بالإضافة إلى النشاط البشري والخطط التنموية التي توليها الدولة لهذا القسم من البلاد. ونظرا للبيئة الجبلية التي يتميز بها شمال البلاد لامتداد جبال الحجر على هيئة قوس يمثل العمود الفقري للقسم الشمالي من عمان، وما يتطلبه التركز العمراني والسكاني والنشاط البشري من حركة دائمة وإنشاء المراكز العمرانية والطرق البرية التي تتعرض للأخطار الطبيعية المختلفة نظراً للأمر الواقع الذي فرض التعايش مع هذه الأخطار ومحاولة تفاديها والسيطرة عليها. فالطرق تمتد في بعض الأحيان بمحاذاة الجبال أو تقطعها في أحيان أخرى لتربط المناطق الداخلية بالمناطق الساحلية، أو إنها تمتد داخل الأودية الأمر الذي يؤدي إلى كثرة الانحناءات والتعرجات للطرق التي تقطع سلسلة جبال الحجر، كما أن ضيق السهل الساحلي في منطقة العاصمة أدى إلى إنشاء المباني والطرق تحت أقدام السفوح مما يعرضها أيضاً للعديد من المخاطر الطبيعية، كما أن بعض الطرق تتعرض لزحف الرمال عندما تمتد بالقرب من

الكثبان الرملية. مما سبق يتضح لنا أن الطرق ومستخدميها تتعرض لمخاطر عديدة مثل خطر التساقط الصخري وخطر السيول وانعدام الرؤية في انحناءات الطرق وزحف الرمال، كل ذلك يمثل خطورة واضحة على الطرق والمنشآت المقامة عليها ومستخدميها في آن واحد.

وتختلف الأخطار الطبيعية التي تتعرض لها الطرق من منطقة لأخرى ومن طريق لآخر بالإضافة إلى اختلافها على الطريق الواحد، ففي بعض الأجزاء يتعرض الطريق إلى خطر التساقط الصخري وزحف المفتتات، بينما في مناطق أخرى يتعرض لخطر السيول من جراء جريان الأودية الجافة، كما تعاني بعض الطرق من كثرة الانحناءات والتعرجات في أجزاء منها بينما أجزاء أخرى تتعرض لزحف الرمال وانعدام الرؤية عليها. ونظرا لامتداد جبال الحجر الغربي والشرقي على هيئة قوس يحجب الساحل العماني عن المناطق الداخلية مما أدى إلى حتمية عبورها، وكانت انسب المواقع لعبورها الممرات الطبيعية التي تمتد مع الأودية الكبيرة التي تقطع هذه الجبال وقد أطلق عليها تعبير النوافذ windows وهي من الشمال إلى الجنوب وادي الجزى ووادي الحواسنة ووادي سمائل بالإضافة إلى وادي الفلج. وقد أدى ذلك إلى تعرض هذه الطرق ومستخدميها إلى كثير من المخاطر التي حاولت الدولة تفاديها والسيطرة عليها وتوفير وسائل الحماية اللازمة للطرق ومستخدميها. ويوضح الشكل (١) امتداد جبال الحجر الشرقي والغربي والمراكز العمرانية الهامة والطرق الرئيسية التي ستتركز عليها دراستنا.

ويمكن حصر وتصنيف الأخطار الطبيعية التي تتعرض لها الطرق في شمال سلطنة عمان فيما يلي:

أولاً : حركة المواد على السفوح المجاورة للطرق.

ثانياً : الجريان السيلي ومخاطرة.

ثالثاً : تعرجات وانحناءات الطرق.

رابعاً : زحف الرمال.

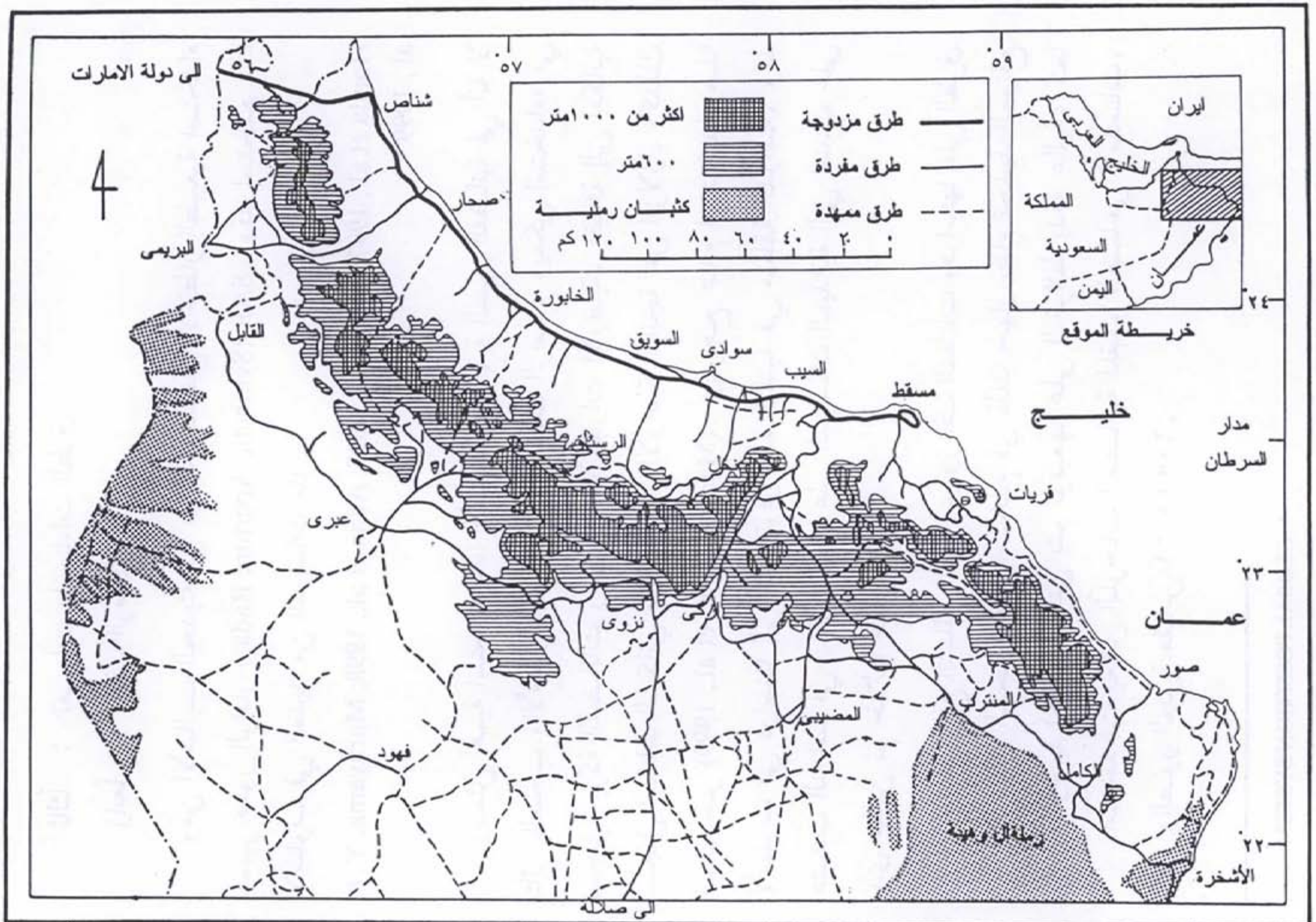
ومن الأساليب الحديثة في دراسة وتسجيل الأخطار الطبيعية استخدام تفسير صور الرادار SAR (Synthetic Aperture Radar)، وقد استخدم هذا الأسلوب في العديد من الدراسات مثل :

Honda et al., 1997; Pope et al., 1997; Adan et al., 1998; Maruyama, Y. et al., 1999.

ويتمثل أهمية استخدام هذا الأسلوب عن بقية الصور الفضائية في أنه لا يتأثر بالسحب والأمطار والغيوم أثناء عمليات الرصد، ويمكن استخدامه في تسجيل حركة الفيضانات والسيول والانهيارات الأرضية، إضافة إلى إمكانية تسجيل النشاط البركاني والانهيارات الأرضية الناتجة عن الزلازل وكذلك التصحر (Maruyama, Y. et al., 1999). ويرجع عدم استخدام هذا الأسلوب في دراستنا إلى عدم توفر هذه التقنية في منطقة الدراسة، وقد اعتمدت الدراسة في المقام الأول على الدراسات الميدانية التي امتدت على مدى سنتين تم خلالها عمل الآتي:

١ - تحديد مواقع التساقط الصخري وزحف المفتتات ودراستها على الطرق الرئيسية المختارة وقد استخدم في ذلك جهاز نظام تحديد المواقع الأرضية (GPS)* حتى يتم توقيعها على الخرائط بدقة عالية، كما استخدمت بعض اللوحات الفضائية للقمر الصناعي لاندسات، والصور الجوية مقياس ١ : ٢٠٠٠٠.

(*) GLOBAL POSSITION SYSTEM



شكل رقم (١) الطرق البرية والظاهرات التضاريسية الرئيسية في شمال سلطنة عمان

٢- قياس الانحدارات لبعض السفوح على جوانب الطرق.
٣- تحديد مناطق التعرجات الخطرة على بعض الطرق.
٤- زيارة المناطق المتأثرة بالفيضانات وتسجيل بعض من آثارها على الطرق والمنشآت.

كما اعتمدت الدراسة على العديد من الخرائط المختلفة وهي :
١- خرائط مقياس ١/ ١٠٠,٠٠٠ التي تصدرها الهيئة الوطنية للمساحة.
٢- خرائط مقياس ١/ ٥٠٠,٠٠٠
٣- خرائط مقياس ١/ ٢٠,٠٠٠ لمحافظة مسقط.
٤- خريطة عمان مقياس ١/ ١,٣٠٠,٠٠٠.
٥- خرائط جيولوجية مقياس ١/ ٢٥٠,٠٠٠.
٦- خرائط جيولوجية مقياس ١/ ١,٠٠٠,٠٠٠ التي تصدرها وزارة البترول والمعادن.

كما اعتمدت الدراسة على العديد من التقارير والدراسات التي تصدرها الهيئات الحكومية خاصة فيما يتعلق بالفيضانات والسيول في الأودية والمناطق التي تتعرض لها.

وقد تم اختيار الطرق الرئيسية المرصوفة والمزدوجة وبعض الطرق الممهدة بالإضافة إلى طرق العاصمة مسقط لدراستها والتطبيق عليها لوجود عدد كبير من الطرق الممهدة وتتعرض لنفس المخاطر إلا أنه يصعب التطبيق عليها جميعاً. كما دعمت الدراسة بعدد لا بأس به من الخرائط من إنشاء الباحث ولوحات لعدد من الظاهرات وآثارها، كما تضمن أيضاً لوحات لوسائل الحماية المختلفة على الطرق.

وسوف يتم معالجة الموضوع من خلال دراسة النقاط التالية :

أولاً : الجوانب الطبيعة لشمال عمان.

أ - التضاريس.

ب - التكوينات الجيولوجية.

ج - الأحوال المناخية.

ثانياً : خصائص شبكة الطرق البرية في شمال عمان.

ثالثاً : تصنيف الأخطار الطبيعية على الطرق البرية في شمال عمان.

ا - حركة المواد على السفوح.

ب - الجريان السيلي للأودية ومخاطرة.

ج - تعرجات وانحناءات الطرق وخطر التضاريس عليها.

بينما لن نتعرض لخطر زحف الرمال على الطرق في هذا البحث، كما سوف نلقي الضوء على وسائل الحماية المتبعة والتوصيات لتجنب الطرق ومستخدميها من الأخطار الطبيعية.

* * *

أولاً : الجوانب الطبيعية لشمال سلطنة عمان

تعتبر دراسة الجوانب الطبيعية للمنطقة والإلمام بخصائصها إحدى النقاط الهامة في الدراسة الحالية حيث يمكن من خلالها فهم ودراسة أنواع المخاطر التي تتعرض لها المنطقة. كما أنها تلقي الضوء على أهمية الموضوع، بالإضافة إلى أنها تعكس صور التفاعل بين الإنسان والبيئة الطبيعية التي يعيش فيها. وسوف نتناول دراسة الجوانب الطبيعية من خلال دراسة الوحدات التضاريسية الرئيسية وتكوينها الجيولوجي وظروفها المناخية.

أ - التضاريس :

تكتسب دراسة وتحليل التضاريس في المناطق الجبلية أهمية بالغة لما لها من أثر واضح على تخطيط هذه المناطق، كما ترسم التضاريس بشكل واضح اتجاهات الطرق وتؤثر على انحداراتها وميولها وأساليب إنشائها , وسوف يتضح في جزء لاحق هذا الأثر بالتفصيل. ويتميز شمال عمان بالتنوع التضاريسي الكبير، وتمثل جبال عمان OMAN MOUNTAINS العمود الفقري للتضاريس حيث تمتد في شكل قوس من رأس مسندم حتى رأس الحد وتمتد على جانبيها السهول التي تختلف فيما بينها من حيث اتساعها ومناسيبها ومواد سطحها، وتقطع سلسلة الجبال مجموعة كبيرة من الأودية التي تنحدر على جانبيها، منها ما يصرف خارجياً في خليج عمان ومنها ما يصرف داخلياً في السهول الصحراوية والمنخفضات الداخلية، هذه الأودية كونت مجموعة متداخلة من المراوح الفيضية، وقد أدى صرف بعض الأودية داخلياً إلى تكون بعض السبخات الداخلية الضخمة. كما لا يخلو

شمال السلطنة أيضاً من مظاهر الإرساب بواسطة الرياح حيث تتكون الأشكال الرملية المختلفة من كثبان طولية وهلالية سواء في الشرق أو الغرب. وفيما يلي سوف نستعرض بشيء من التفصيل هذه الوحدات التضاريسية الرئيسية.

عندما نبدأ التحدث عن التضاريس في عمان يجب أن نبدأ من مرتفعات عمان فهي أحد أكبر الوحدات التضاريسية في الركن الجنوبي الشرقي من شبه الجزيرة العربية، كما أنها تمثل امتداداً لجبال زاجروس في إيران، وهي تصنف ضمن نمط الجبال الإلتوائية الألبية طبقاً لطريقة نشؤها وتكونها. وتمتد سلسلة جبال عمان - كما أشرنا قبل قليل - في شكل قوس من رأس مسندم في الشمال حتى رأس الحد بطول يصل حوالي ٧٠٠ كم، وتطل هذه السلسلة بسفوحها الشرقية والشمالية الشرقية على خليج عمان، بينما سفوحها الغربية والجنوبية الغربية تنحدر صوب الأراضي العمانية الداخلية، وتختلف جبال عمان فيما بينها من حيث منسوبها واتساعها وتكويناتها الجيولوجية. ولقد اختلفت تقسيمات هذه الجبال من دراسة إلى أخرى، فقد قسمت إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي : جبال عمان الجنوبية الشرقية SOUTHEASTERN OMAN MOUNTAINS وهي تقع إلى الجنوب الشرقي من وادي سمائل ويطلق عليها جبال الحجر الشرقي EASTERN HAJAR، ثم جبال عمان الوسطى CENTRAL OMAN MOUNTAINS وتمتد فيما بين خطي عرض مسقط وصحار، ثم سلسلة جبال عمان الشمالية NORTHERN OMAN MOUNTAINS التي تمتد إلى الشمال من طريق العين - صحار، كما يطلق على سلسلة الجبال إلى الشمال من عبرى جبال الحجر الغربي WESTERN HAJAR (GLENNIE, K.W. ET. AL, 1973). كما قسمت هذه الجبال أيضاً تبعاً للبنية الجيولوجية إلى أربعة أقسام هي : مناطق التكوينات الجيرية، وتكوينات الحواسنة، وتكوينات سمائل وأخيرا نطاق

الصخور الجيرية في الجنوب الشرقي. كما تقسم جبال عمان أيضاً إلى قسمين رئيسيين يفصل بينهما وادي سمائل، فالجبال إلى الشرق من الوادي يطلق عليها جبال الحجر الشرقي والجبال إلى الغرب من الوادي يطلق عليها جبال الحجر الغربي، ويعتبر هذا التقسيم هو الأكثر تداولاً واستخداما نظراً لوضوح الفاصل بين الكتلتين حيث يمر وادي سمائل في أحد الصدوع الكبيرة الواضحة التي تفصلهما، كما أن هذا التقسيم يستخدم على الخرائط التي تصدرها الدولة، لذلك سوف نستخدم هذا التقسيم في دراستنا.

وتختلف السمات الطبيعية لهذه الجبال فيما بينها فتظهر جبال الحجر الغربي أكثر ارتفاعاً وامتداداً من جبال الحجر الشرقي، كما أنها أكثر ابتعاداً عن الساحل مما يسمح بتكون سهول ساحلية متسعة مقارنة بالسهول الساحلية التي تطل عليها جبال الحجر الشرقي. وتمتد جبال الحجر الغربي من رأس مسندم حتى وادي سمائل في شكل قوس، وتتميز هذه المرتفعات بأنها شديدة الانحدار ويوجد بها أعلى قمم جبلية في عمان وهو جبل شمس ويبلغ ارتفاعه حوالي ٣٠٠٩ متر فوق مستوى سطح البحر، وهو أحد قمم الجبل الأخضر، كما يتميز هذا الجزء بأنه أكثر أجزاء مرتفعات عمان اتساعاً حيث يبلغ حوالي ٨٠ كم على امتداد جبل نخل الذي يبلغ ارتفاعه ٢٤٧٨ متر. وتتعدد القمم في جبال الحجر الغربي مثل جبل ماحل وعلى والعوابى والرستاق والكور وحالات وأسود والأبيض وقشاة ومقيليت ولحينة والغشنة وحتا. وتتدرج مناسيب هذه المرتفعات بالانخفاض صوب الشمال فيبلغ ارتفاع جبل حالات حوالي ١٥٢٥ متر، ثم جبل أسود وجبل أبيض وجبل مقيليت حوالي ١٦٠٠ متر، كما تنخفض القمم إلى الشمال من الحدود بين عمان ودولة الإمارات إلى أن تصل ارتفاعات بعض القمم

حتى ٩٩٢ متر، ثم تتزايد مرة أخرى بالاتجاه صوب رأس مسندم فيما يعرف برؤوس الجبال. وتتميز مرتفعات الحجر الغربي بشدة تقطعها بواسطة الأودية الخانقية ذات القطاعات الطولية شديدة الانحدار بالإضافة إلى قممها الحادة والحافات شديدة الانحدار، وقد تعرضت هذه المرتفعات لعمليات باطنية عديدة من طي وتصدع ورفع تظهر آثارها بوضوح في تقطعها ومظهرها الحاد، وتنحدر سفوحها الشمالية الشرقية والشرقية صوب سهل الباطنة، بينما سفوحها الغربية والجنوبية الغربية تنحدر صوب السهول الصحراوية الداخلية.

وتمتد سلسلة جبال الحجر الشرقي إلى الجنوب الشرقي من وادي سمائل وهي القسم الثاني من مرتفعات عمان، وهي أقل ارتفاعاً وانحداراً من الحجر الغربي، كما أنها تقترب كثيراً من الساحل مما يؤدي إلى قلة ظهور السهول الساحلية، كما يبلغ أكثر أجزائها اتساعاً حوالي ٦٦ كم في جزئها الغربي، ويبلغ امتدادها حوالي ٢١١ كم. وتمثل قمة جبل بني جابر أكثر قمم الحجر الشرقي ارتفاعاً حيث يبلغ منسوبها حوالي ٢٠٠٣ متر، كما تتعدد قمم هذه المرتفعات مثل قمم جبال اصفر وأسود وأبيض وحزمية وحلوى وتبلغ ارتفاعاتها على التوالي ١٨٠١، ١٨٣١، ١٤٨١، ١٦٨١، ١٢٨٦ متر، إضافة إلى جبل أبو داؤود الذي يبلغ ارتفاعه حوالي ١١٩٠ متر ويقع إلى الشمال من قريات، ومن القمم الجبلية أيضاً قمم جبال الطائيين والحالمية وخميس وقهوان. وتتميز هذه المرتفعات بأنها ذات سفوح شديدة الانحدار وقمم مدببة، كما تظهر سفوحها الشمالية الشرقية المطلة على خليج عمان على هيئة مدرجات فهي عبارة عن مجموعة من الشواطئ البحرية القديمة المرفوعة. بينما السفوح الجنوبية الغربية تطل على أحد

أكبر السهول الصحراوية الداخلية التي تتكون من مجموعة من المراوح الفيضية التي كونتها الأودية التي قطعت السلسلة الجبلية مثل وادي البطحاء ووادي فحل ووادي فلج.

وتنقسم السهول في عمان إلى سهول ساحلية وسهول داخلية، وتتمثل السهول الساحلية في شمال عمان في سهل الباطنة وبعض السهول الصغيرة المحصورة بين جبال الحجر الشرقي والساحل، وسهل الباطنة أكبر السهول الساحلية في شمال عمان على الإطلاق فهو ينحصر بين جبال الحجر الغربي من جهة الغرب وخليج عمان من الشرق، ويمتد على هيئة قوس بداية من رأس الحمراء في الجنوب حتى إلى ما بعد الحدود الشمالية لعمان، ويبلغ أقصى اتساع له قرب السويق حيث يبلغ حوالي ٥٠ كم، بينما يضيق في الشمال والجنوب ويكاد يختفي عند رأس الحمراء بينما يبلغ اتساعه حوالي ٦,٥ كم إلى الشمال من خطمة ملاحة. ويتكون السهل من مجموعة من المراوح الفيضية التي كونتها الأودية المنحدرة من جبال عمان وتتكون من رواسب مختلفة الأحجام تتدرج من الأقل حجماً مثل الطفل والطمى والرمال إلى الأكثر حجماً من حصى وجلاميد صوب الغرب حتى تصل إلى أقدام الجبال التي تكونت بفعل التعرية المائية. وتمثل المراوح الفيضية أحد أهم المظاهر الجيمورفولوجية في سهل الباطنة فهي تتنوع بين القديم والحديث وتقطعها مجاري الأودية مكونة على سطحها مجموعة من الأودية الضحلة المتشابكة والمضفرة. وعلى النقيض من سهل الباطنة نجد سلسلة الحجر الشرقي لم تسمح بتكون سهل ساحلي فسيح، لذلك فالسهل الساحلي ضيق في بعض المناطق التي تمثل دلتاوات لبعض الأودية، بينما يختفى السهل في مناطق أخرى عندما تتكون الجروف على الساحل.

وتتكون السهول الداخلية في الجهة الغربية والجنوبية الغربية لجبال عمان من مجموعة من المراوح الفيضية التي كونتها الأودية التي تصرف داخلياً صوب صحراء الربع الخالي، وهي تتكون من الحصى والجلاميد بالإضافة إلى تكون السبخات الداخلية مثل سبخة أم السميم. كما تنتهي الأطراف الغربية لهذه السهول بالأشكال الرملية التي تمثل امتدادا لرمال الربع الخالي.

وتمثل الأشكال الرملية أحد الأشكال الجيمورفولوجية الهامة في شمال وجنوب عمان، ففي الغرب توجد داخل حدود عمان الأطراف الجنوبية لرمال الربع الخالي التي تتكون من الكثبان الطولية والكثبان العرضية والكثبان النجمية إضافة إلى الأشكال الرملية الأخرى مثل النباك والفرشات والأشكال الدقيقة، كما أثرت بعض السبخات الداخلية على خصائص الأشكال الرملية من حيث الشكل فظهرت بعض الكثبان القبابية كما أدت إلى عرقلة حركتها في بعض المناطق مما أدى إلى زيادة أحجامها وارتفاعاتها وظهورها في صورة كثبان معقدة ومركبة. كما توجد إلى الجنوب من جبال الحجر الشرقي ولمسافة تزيد عن ٢٠٠ كم رمال آل وهيبة، وهي من نوع الكثبان الطولية المركبة والمعقدة، كما تنتشر إلى الشرق منها وبالقرب من الساحل بعض الكثبان الهلالية بالإضافة إلى الأشكال الرملية المتكونة بفعل العقبات التضاريسية. كذلك توجد بعض الأشكال الرملية التي تنتشر في منطقة الباطنة بالقرب من الساحل وهي عبارة عن كثبان طولية وساحلية وتنتشر في منطقة سوادي والمعاول بالإضافة إلى الكثبان الرملية في منطقة بوشر بالعاصمة مسقط.

ومن الأشكال الجيمورفولوجية الهامة التي تميز شمال عمان الأودية الجافة التي تقطع سلسلة جبال عمان، وتنقسم الأودية إلى نظامين : أودية تنحدر صوب الشرق والشمال الشرقي وتصب في خليج عمان مثل أودية

سمائل والمعاول والحواسنة وعاهن والصلاحي والجزى وقريات وفليج، وأودية تتجه صوب الغرب والجنوب الغربي وتنتهي في السهول الداخلية لتصرف داخلياً مثل أودية أسود وجبال والعين وضنك والعميري، ومن هذه الأودية ما يستطيع أن يشق طريقه إلى بحر العرب مثل وادي البطحاء ووادي حلفين. وتختلف هذه الأودية في خصائصها المورفولوجية من حيث أطوال مجاريها ورتبها ومساحة أحواضها بالإضافة إلى اختلاف كميات تصريفها، وسوف نتناول دراسة الخصائص المورفومترية والتصريفية للأودية في جزء لاحق، ويوضح الشكل رقم (٧) تفصيلاً للأودية وأحواضها في شمال عمان.

ب - التكوينات الجيولوجية :

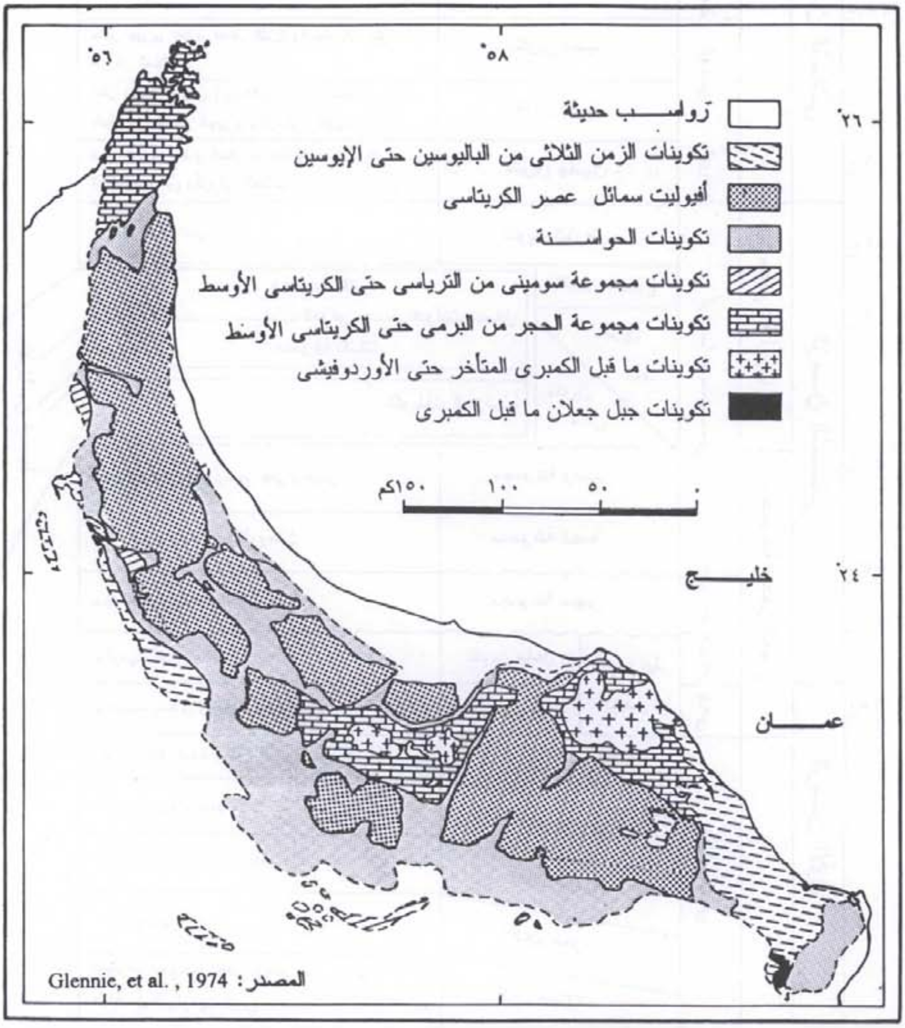
تتنوع التكوينات الجيولوجية في عمان تنوعاً كبيراً، كما تظهر بوضوح آثار البنية الجيولوجية وعوامل التشكيل الداخلية والخارجية خاصة في جبال الحجر التي تمثل المظهر الطبيعي الرئيسي في شمال عمان. ويتضح من الخريطة الجيولوجية شكل (٢) وقطاع التتابع الجيولوجي شكل (٣) والدراسات السابقة الوضع الجيولوجي لعمان ويمكن أن نلخصه فيما يلي :

١ - تمثل التكوينات الجيولوجية في عمان متحفاً طبيعياً لتنوعها الكبير حيث تمثل هذه التكوينات معظم صخور الأرض، فيظهر على السطح تكوينات القشرة الأرضية جنباً إلى جنب مع تكوينات القشرة المحيطية. وتتفق بحوث عديدة على أن عمان تحتوي على أفضل قطاع صخري منكشف وبارز في العالم لصخور الأفيوليت التي تكونت أسفل المحيط، ويمكن دراسة هذه التكوينات من خلال جوانب الأودية العميقة التي تكثر على جوانب الجبال. وقد تعرضت

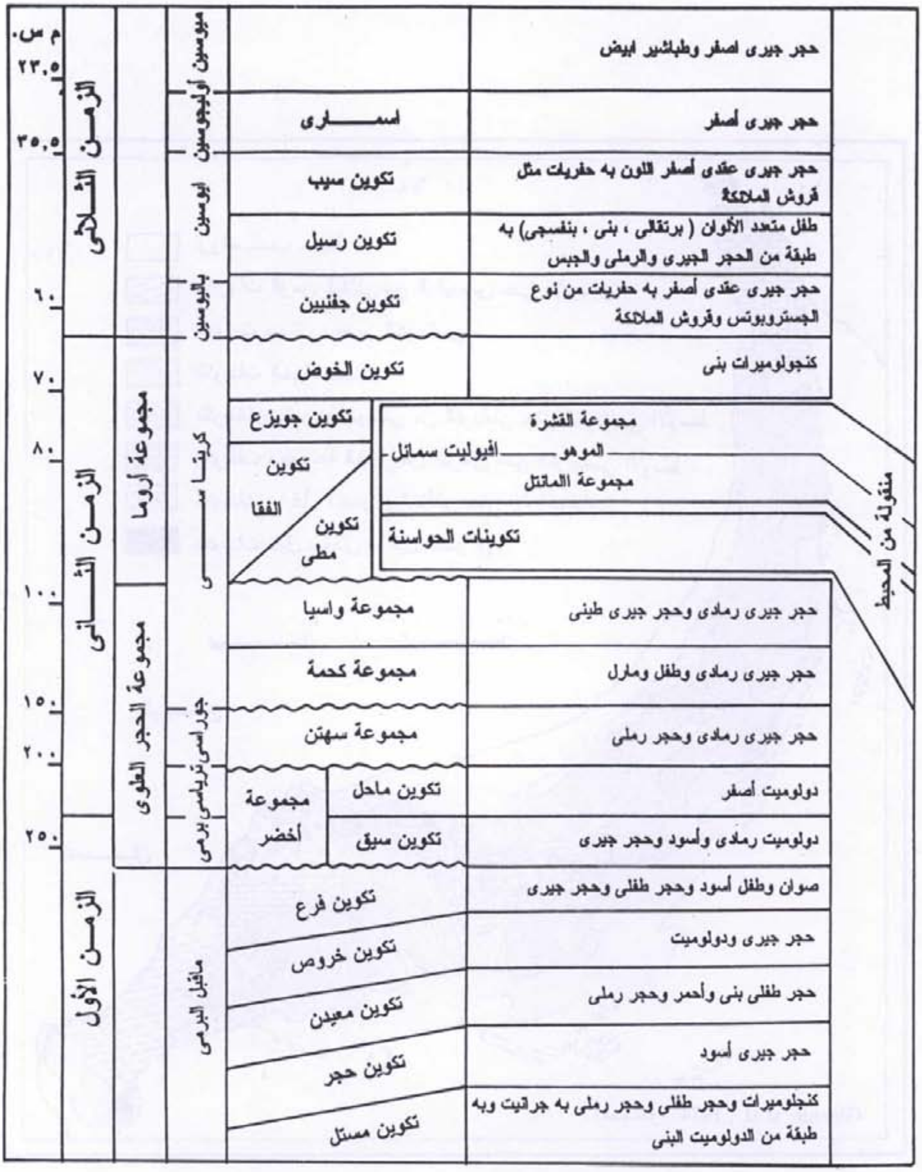
عمان خلال تاريخها الجيولوجي إلى تطورات عديدة منذ فجر التاريخ أدى ذلك إلى ظهور هذا التنوع الكبير في قطاعها الجيولوجي.

٢ - توضح الدراسات الجيولوجية (Hanna, 1995; Lippard, eT al, 1986; Glennie, eT al, 1974) أن التطور الجيولوجي لعمان يمكن إيضاحه في ثلاثة تتابعات رئيسية يقسم كل منها إلى عدة تكوينات. التتابع الأقدم عبارة عن صخور قشرة قارية مغطاة بالرواسب وترجع إلى عصر البرمي، ويعلو هذه الصخور مجموعة الحجر العلوي Hajar Super Group وهي عبارة عن رواسب كربوناتية أر سبت في بحر ضحل نتيجة لانفتاح بحر تشس Tethys. التتابع التالي صخور تكونت من الرصيف القاري Continental Edge وتعرف بتكوينات الحواسنة، وصخور تكونت في قاع المحيط وانتقلت إلى سطح عمان وتعرف بأفيوليت سمائل. التتابع الأحدث تكون بعد انحسار بحر تشس ويتواجد أعلى صخور الأفيوليت ويفصل بينهما سطح عدم تطابق وهي عبارة عن تكوينات جيرية أرسبت في بحر ضحل وتنتمي إلى الزمن الثلاثي، ويوضح الشكل (٣) هذه التتابعات الثلاثة وتكويناتها.

٣ - منذ العصر البرمي وحتى الكريتاسي كانت عمان عبارة عن رصيف بحري ضحل تراكمت علية صخور جيرية أطلق عليها مجموعة الحجر العلوي، ثم تعرض الرصيف إلى حركة رفع وتعرض لعمليات التعرية، في هذه الفترة منذ البرمي حتى الكريتاسي كانت تتكون تكوينات الحواسنة وهي عبارة عن صخور جيرية وصخور المجمعات Conglomerate مختلطة مع الحجر الطيني Mudstone، وفي الكريتاسي المتأخر انتقلت تكوينات الحواسنة وأفيوليت سمائل نتيجة للحركات التكتونية إلى اليابس وتجاورت مع تكوينات مطى Muti والفقا Fiqa.



شكل (٢) خريطة مبسطة لجيولوجية شمال سلطنة عمان



شكل (٣) التتابع الجيولوجي لسلطنة عمان

٤ - غطى الجليد سطح عمان في فترتين مختلفتين عندما كانت عمان قريبة من القطب الجنوبي، وعندما تحركت عمان شمالاً أدى ذلك إلى ذوبان الجليد تاركاً خلفة آثار واضحة في مناطق مختلفة من سطح عمان، وتوجد الرواسب الجليدية في كل من الجبل الأخضر ووادي بني خروص والحقف.

٥ - في الزمن الجيولوجي الثالث تعرض سطح عمان مرة أخرى للطغيان البحري وتوالي علية الإرساب وتكونت رسوبيات جيرية غنية بالحفريات، ثم تعرض اليابس لحركة رفع في بداية البليوسين توقف على أثرها الإرساب البحري. وقد بدأت جبال عمان في التكون منذ بدايات الزمن الجيولوجي الثالث، ويرجع تكونها إلى حركتين تكتونيتين، الأولى في نهاية الكريتاسي وأوائل الزمن الثالث عندما تحرك اللوح الأفريقي من الجنوب إلى الشمال ضاغطاً على لوح الدكن المتحرك إلى عكس الاتجاه مما أدى إلى انكماش بحر تشس، ونتج عن ذلك رفع القشرة المحيطية وصخور الهامش القاري من جهة الشمال الشرقي إلى جهة الجنوب الغربي، وكانت بداية تكون جبال عمان وزاجروس أيضاً، والحركة الثانية كانت في عصري الميوسين والبليوسين وفيهما تشكلت وارتفعت جبال عمان بشكل واضح، وفي نهاية البليوسين حدثت حركة رفع مازالت مستمرة حتى الآن وتظهر آثارها واضحة في تشكيل العديد من السواحل البحرية المرفوعة على الساحل العماني.

٦ - تتكون سلسلة جبال عمان من نوعين رئيسيين من الصخور، النوع الأول تكوينات سمائل وهي عبارة عن كتل ضخمة من صخور الأفيوليت النارية ويطلق عليها Ophiolite Samail وهي صخور منقولة من القشرة المحيطية

وترتكز على صخور رسوبية بحرية أخرى تعرف بتكوينات الحواسنة وهي صخور قارية إلى بحرية غير عميقة من حيث النشأة وتنكشف على السطح في بعض المواقع، وتمتد صخور الأفيوليت لمسافة تصل إلى ٦٠٠كم بعرض ١٥٠كم وسمك يتراوح بين ٥ -١٠كم، كما تغطي مساحة تقدر بحوالي ٢٠٠٠٠كم^{٢} (Lippard, S. J., ET al, 1986, p. 39)، وقد تعرضت هذه الصخور إلى عمليات تكتونية كثيرة من الطي والتصدع فقطعت إلى كتل ضخمة بلغ عددها ١٢ كتلة تمثل أساساً لجبال عمان في الشمال، وتتكون صخور الأفيوليت من الجابرو Gabbro والبريدوتيت Peridotites بصورة أساسية. كما تتخلل كتل الأفيوليت النوع الثاني من الصخور وهي تكوينات الحواسنة وهي تتكون من الصخور الجيرية والحجر الرملي والحجر الطيني مع وجود صخور المجمعات والدولوميت والبريشيا Breccia. وقد تعرضت هذه التكوينات أيضاً لعمليات تكتونية قوية من الطي والتصدع، وتتركز تكوينات الحواسنة في الجهة الجنوبية والغربية من جبال عمان خاصة في حمراء الدروع، كما توجد أيضاً في نافذة الحواسنة، وقد قسمت تكوينات الحواسنة إلى عدة وحدات جيولوجية وهي من القاعدة إلى القمة : مجموعة حمراء الدروع Hamrat Duru، وهراه Wahrah، العين Al Ayn، حلفا وحاليى Halfa &Hali w، العريضة وإبراء Al Aridh &Ibra.

٧ - يحيط بجبال عمان من الشمال الشرقي والجنوب الغربي رواسب حديثة تختلف في أنواعها وأحجامها وأشكالها، وترجع جميعها إلى الزمن الرباعي Quaternary، وهي عبارة عن رواسب المراوح الفيضية التي كونتها الأودية التي مزقت الكتل الجبلية وجلبت معها هذه الرواسب وأرسبتها في صورة سهول تحيط بالكتل الجبلية، كما تختلف هذه

المراوح في أعمارها بين القديم والحديث. كما تنتشر رواسب الرمال مكونة فرشات رملية وكثبان ونباك وحافات رملية بمحاذاة الساحل، إضافة إلى رواسب السبخات الساحلية والداخلية.

ج - الأحوال المناخية :

للمناخ آثار واضحة على معظم معالم السطح، كما توجد علاقة واضحة بين عناصر المناخ المختلفة وما تتعرض له الطرق البرية من أخطار خاصة عناصر الحرارة والمطر والرياح، لذلك سوف نتناول في هذا الجزء الخصائص المناخية التي يتميز بها شمال عمان لهذه العناصر الثلاثة فقط. وسوف تعتمد الدراسة على البيانات الإحصائية المستقاة من تقارير محطات الأرصاد المختلفة حتى عام ١٩٩٩ التي تصدرها وزارة النقل والمواصلات، وتتراوح الفترات الزمنية للبيانات بين ٥ - ٣٥ عام. وسوف يتم الاعتماد على محطات الأرصاد في شمال عمان فقط.

يتنوع المناخ في عمان تنوعاً كبيراً نظراً لامتدادها الكبير الذي يصل لنحو عشر درجات عرض تقريباً، فيؤدي ذلك إلى اختلافات واضحة في المناخ بين الشمال والجنوب. وعمان جزءاً من الجزيرة العربية التي تتميز بمناخ صحراوي متطرف كبير من حرارة مرتفعة وندرة في الأمطار، إلا أن وجود عمان في الطرف الجنوبي منها وقربها من المسطحات المائية مثل خليج عمان وبحر العرب التي تطل عليهما بسواحل طويلة يزيد طولها عن ألفي كم ويؤدي ذلك إلى التقليل من آثار هذا التطرف المناخي خاصة في المناطق القريبة من الساحل عنها في المناطق الداخلية، كما تعمل على ارتفاع نسبة الرطوبة النسبية في هذه المناطق أيضاً. وتؤثر التضاريس على عناصر المناخ المختلفة خاصة درجات الحرارة حيث تقل درجات الحرارة

في المناطق الجبلية مثل جبال عمان في الشمال وجبال ظفار في الجنوب، كما تعدل في بعض الأحيان اتجاهات الرياح. كما تتأثر عمان باختلاف مناطق الضغط الجوي في المحيط الهندي واليابس الآسيوي، مما يؤثر على نظم الرياح بين الصيف والشتاء وبين الجنوب والشمال، فبينما القسم الشمالي من عمان يتعرض لرياح شمالية وشرقية ذات أمطار قليلة في فصل الشتاء نجد أن القسم الجنوبي يتعرض للرياح الموسمية الصيفية المطيرة. ويلعب اتجاه السواحل العمانية دوراً واضحاً في تأثر عمان بالرياح على مختلف أنواعها حيث يتوازى أحياناً مع الرياح خاصة المحملة ببخار الماء فلا يستفاد منها في سقوط الأمطار، أو يتعامد مع الرياح في أجزاء أخرى. ويتنوع سقوط الأمطار على عمان فهي تستقبل خمسة أنواع مختلفة من الأمطار وهي : المطر الجبهي والمطر التصاعدي والمطر التضاريسي والمطر الإعصاري والمطر الموسمي، وتختلف هذه الأمطار في أماكن تساقطها وكميتها حسب نوعها (محمد الشبعان، ١٩٩٣). وفيما يلي سوف نتناول خصائص عناصر المناخ المختلفة لمحطات شمال عمان مع الإشارة لعناصر المناخ في أماكن أخرى من الوسط والجنوب إذا لزم الأمر ذلك.

١ - **الحرارة** : يلعب الاختلاف التضاريسي دوراً كبيراً في توزيع الحرارة في القسم الشمالي من عمان نظراً للارتفاعات التي تزيد عن ٣٠٠٠ متر في الجبل الأخضر (جدول١)، فبينما يتراوح المتوسط السنوي للحرارة في سهل الباطنة والمنطقة الداخلية بين ٢٦,٥°س في مجيس (صحار)، ٢٩,١°س في فهود، تقل الحرارة بوضوح في المناطق الجبلية فيبلغ المتوسط السنوي في سيق ١٧,٨°س. وتزداد درجة الحرارة العظمى في شهور الصيف فتزيد عن ٤٥°س في الشهور من يونيو حتى

أغسطس وتصل أحياناً إلى ٥٠,٨°س في البريمي، ٥٠,٧°س في فهود، ٥٠°س في صحار، كما تقل في شهور سبتمبر وأكتوبر فتتراوح بين ٤٢°، ٤٦°س. وتقل الحرارة العظمى في المناطق الجبلية فتتراوح بين ٢٨°، ٣٦°س في سيق، كما لا تقل درجة الحرارة العظمى في معظم شهور السنة عن ٣٠°س. وتنخفض درجة الحرارة الدنيا بشكل ملحوظ فتقل عن ١٠°س في شهور الشتاء، كما تتراوح بين ١١°س، ٢٢°س تقريباً في شهور الصيف. كما تقل درجة الحرارة الدنيا عن ١١°س في المناطق الجبلية، وتنخفض تحت الصفر بأكثر من ثلاث درجات أحياناً في شهور الشتاء. وسوف نشير إلى الفرق بين حرارة النهار والليل في جزء لاحق وأثر ذلك في تفتت الصخور وتكوين المواد المتحركة على السطح.

٢ - **الأمطار** : يختلف تساقط المطر من منطقة إلى أخرى تبعاً لنوع التساقط والتوزيع الجغرافي، فمناطق الساحل تختلف عن المناطق الجبلية وكذلك المناطق الصحراوية الداخلية، ويبلغ المتوسط السنوي للأمطار ١٣٦ مم، ويتراوح المتوسط الشهري لسقوط الأمطار بين أقل من ٥٠ مم في السواحل والمناطق الداخلية إلى ٣٠٠ مم في جبال عمان. ففي ساحل شمال عمان يحدث التساقط في فصل الشتاء في شهور نوفمبر حتى أبريل، ويعتبر شهر فبراير أكثر شهور السنة مطراً، ويوضح الجدول (٢) أن المتوسط الشهري للأمطار في خصب يبلغ ٥١,٩ مم في شهر فبراير، يليه ديسمبر ٥٠,٩مم، بينما بلغ في كل من صحار والسيب ومسقط ٣٩,٣، ٢٠,٣، ٢٦مم على التوالي. كما يشير الجدول إلى تساقط أمطار صيفية خلال شهور يونية حتى سبتمبر وتتميز بغزارتها خلال فترة قصيرة. وتتفاوت

كمية الأمطار السنوية من سنة إلى أخرى ففي مسقط بلغت كمية الأمطار السنوية في عامي ١٩٩٠، ١٩٩٣ على التوالي ٧٩، ٤٣ مم، بينما بلغت هذه الكمية ٢٣٧مم في عام ١٩٩٧، كما بلغت في نفس السنوات في محطة سيق ٤٤١، ٣٥٨، ١٠٠٠ مم على التوالي.

أما جبال عمان في الشمال فتلعب دوراً بارزاً في التساقط، فهي تؤدي إلى حدوث الأمطار التضاريسية، ويحدث التساقط في الجبال في فصل الشتاء نتيجة للتساقط التضاريسي وخاصة في شهر فبراير الذي يتميز بارتفاع كمية الأمطار فيه. أما بقية السنة فتختلف نوعية الأمطار المتساقطة على الجبال ففي مسندم تتأثر بالتقلبات المحلية والرطوبة الساحلية، بينما القمم الجبلية في شمال عمان تتأثر بالرياح الموسمية خاصة في فصل الخريف ويمكن ملاحظة ذلك من الجدول حيث ترتفع كمية التساقط الشهري في محطة سيق في شهري يوليو وأغسطس فتبلغ ٥٠,١ مم، ٥٩,٣ مم على التوالي. بينما يبلغ المتوسط الشهري في نفس المحطة في فصل الشتاء في شهر فبراير ٤٥ مم، وشهر مارس ٦١,٩ مم.

أما المناطق الصحراوية الداخلية فتتميز بأن توزيع أمطارها عشوائي حيث تتعرض لأمطار غزيرة لفترة قصيرة ثم تمر عدة سنوات لا يسقط فيها أمطار، ويظهر من الجدول (٢) متوسط التساقط الشهري الضئيل في محطة فهود الصحراوية مقارنة ببقية المحطات الأخرى، ويبلغ المتوسط الشهري في فصل الشتاء وهو الفصل المطير ٦,٣، ٥,٩، ٦,٤ مم في شهور فبراير ومارس وأبريل على التوالي. ويختلف المتوسط السنوي حسب المناطق ويتراوح بين ١٢٣ مم في مسقط،

١٢٩ مم في الباطنة، ٢٨١ مم في الشرقية، ١٣٦ مم في الظاهرة، ٢٩٨ مم في الداخلية.

٣ - **الرياح** : تختلف اتجاهات هبوب الرياح على عمان مكانياً وزمانياً، كما تتميز باعتدال سرعتها في جميع أنحاء البلاد. ففي منطقة الساحل وسهل الباطنة تهب الرياح شتاءً من الشمال والشمال الشرقي، أحياناً من الشمال الغربي. بينما في المناطق الداخلية تهب عليها رياح شمالية غربية قادمة من الخليج العربي، كما تضرب الرياح وتهب من اتجاهات مختلفة في منطقة الجبل الأخضر. وتختلف اتجاهات الرياح في فصل الصيف فتهب من الجنوب الغربي في منطقة الساحل وسهل الباطنة، كما يتأثر الجبل الأخضر بالرياح الموسمية (قلاوي، ١٩٩٦، ص٧٨ - ٧٩).

جدول (١) متوسطات الحرارة الشهرية العظمى والدنيا لمحطات شمال عمان (درجة سلسيوس)

المحطة	الارتفاع	الحرارة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيه	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط السنوي
خصب	٣,٠٨	ع	٣١	٣٢	٣٧,٥	٤٣	٤٦,٢	٤٩	٤٧,٧	٤٧,٥	٤٤	٤١,٤	٣٦	٣١,٦	٢٨,٣
		د	١٠,٥	١٠	١٠	١٥,٥	٢١,٥	٢٥	٢٣,٨	٢٧	٢٢	١٦	١٢	٨,٤	
		م	٢٠,٣	٢١	٢٣,٥	٢٨,٣	٣٢,٣	٣٤,٢	٣٤,٩	٣٤,٥	٣٢,٩	٣٠,١	٢٥,٧	٢١,٨	
البريمي	٢٩٨,٩	ع	٣٣,٢	٣٧	٤١	٤٤	٤٨	٤٩,٤	٥٠,٨	٤٩,٥	٤٦,٢	٤٤,١	٣٨,٣	٣٣,٢	٢٧,٦
		د	٢,٥	٤	٧,١	٨,١	١١,٣	١٣,٩	١٥,٢	١٥,٧	١٤,٤	١٣	٥,٥	٢,٦	
		م	١٧,٣	١٩,١	٢٢,٨	٢٧,٨	٣٢,٤	٣٤,٦	٣٥,٩	٣٥,٩	٣٣,١	٢٩,٢	٢٣,٤	١٩,١	
صحار (مجيس)	٣,٦	ع	٣٢,٥	٣٤	٣٧,٤	٤٤,٥	٤٧	٤٨,٥	٥٠	٤٥	٤٣,٢	٤٢,٤	٣٧,٧	٣٣,٩	٢٦,٥
		د	٥,٧	٥,٨	٦,٨	١١,٢	١٦	١٩,٧	٢٢,٤	٢١,٤	١٧,٤	١١,٥	٨	٧,٤	
		م	١٩,٢	١٩,٨	٢٢,٣	٢٦,٦	٣٠,٩	٣٢,٧	٣٣	٣١,٧	٣٠,٣	٢٧,٥	٢٣,٨	٢٠,٧	
سيق	١٧٥٤,٩	ع	٢٣	٢٣,٥	٢٦	٣٠	٣٤,٥	٣٦,٣	٣٥,٣	٣٣	٣٢,٢	٢٨,٤	٢٦,٥	٢٣,٣	١٧,٨
		د	٣,٦-	٣-	١,٤	٢,٣	٥,٣	١٠,٢	١١	١١,٥	٩,٤	٥,٢	١,٢-	٢,٦-	
		م	٩,٥	١١,٦	١٤,٥	١٧,٩	٢٢,١	٢٥	٢٥	٢٤,١	٢١,٦	١٨	١٣,٥	١٠,٧	
سيب	١٤,٦	ع	٣٤,٢	٣٧	٤١,٤	٤٤	٤٧	٤٨,٥	٤٩,٢	٤٦,٨	٤٤,٥	٤٢	٣٧,٨	٣٣	٢٨,٤
		د	١١,٥	١٠	١٤,٤	١٧,٥	١٩,٦	٢٤,٥	٢٥	٢٣,٣	٢٢,٢	١٦,٦	١٢,٨	١٠,٩	
		م	٢١,٢	٢١,٩	٢٤,٨	٢٩,٤	٣٤	٣٥,٢	٣٤,٢	٣٨,٩	٣١,٣	٢٩,٤	٢٥,٤	٢٢,٦	

(تابع) جدول (١) متوسطات الحرارة الشهرية العظمى والدنيا لمحطات شمال عمان (درجة سلسيوس)

المحطة	الارتفاع	الحرارة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيه	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط السنوي
مسقط	صفر	ع	٣٥,٣	٣٤,٥	٣٦,٥	٤٤	٤٥	٤٧	٤٦,٣	٤٤,٦	٤٢	٤٠,٧	٣٦,٤	٣٢,٥	٢٩,١
		د	١٤	١٤	١٧,٨	١٨,٩	٢٣,٥	٢٦,٤	٢٤,٥	٢٣,٥	٢٤,٥	٢٢,٦	٢١	١٦,٣	
		م	٢٢,٦	٢٣	٢٥,٥	٢٩,٨	٣٤,١	٣٤,٩	٣٣,٣	٣١,١	٣١,٧	٣١,١	٢٧,٥	٢٤,٥	
نزوى	–	ع	٣٥	٣٥,٥	٤٠,١	٤٥,٦	٤٧	٤٩,٥	٥٠	٤٨,١	٤٥,١	٤٣,٣	٣٦,٤	٣١,٨	٢٧,٦
		د	٢	٥,٨	٦,٥	١١	١٦,٨	٢١,٩	٢١,٩	١٨,٥	١٧,٥	١٠,٢	٩,٤	٧,١	
		م	١٨,٥	٢٠,٩	٢٣,٩	٢٨,٤	٣٣,٥	٣٥,٦	٣٥,٥	٣٣,٦	٣١,٣	٢٧,١	٢٣,١	٢٠	
فهود	١٧٠	ع	٣٣,٨	٣٥,٥	٤٠,١	٤٥,٩	٥٠,٤	٥٠,٧	٤٩,٩	٤٨,٦	٤٨,٣	٤٤,٧	٣٨,٦	٣٣,٥	٢٩,١
		د	٥,٦	٥,٦	٩,١	١٢,٩	١٧,٧	٢٠,٦	٢٣,٥	٢٢	١٩,٢	١٢,٨	١١,١	٥,٨	
		م	١٩,٨	٢٢,٤	٢٤,٩	٣٠,٢	٣٤,٥	٣٦,٤	٣٦,٦	٣٥,٥	٣٣,٢	٢٩,٩	٢٤,٩	٢٠,٩	
صور	١٣,٨	ع	٣٥,١	٣٧,٦	٤٢	٤٤,٢	٤٨,٣	٤٩,٨	٤٨	٤٧,٢	٤٤,٨	٤٣,٤	٣٨,٤	٣٤,٧	٢٨,٥
		د	٧	٨,٨	٩,٦	١٦,٧	٢٠,٩	١٦,٨	١٧,٢	١٦	١٥	١٤,٢	٩	٨,٨	
		م	٢١,٨	٢٣,٥	٢٥,٤	٢٩,٨	٣٣,٧	٣٤,٧	٣٣,٦	٣١,٥	٣١,١	٢٩,٢	٢٥,٣	٢٢,٨	

ع : متوسط الحرارة العظمى   د : متوسط الحرارة الدنيا   م : المتوسط الشهري   المصدر: Annual Climate Summary, 1997

جدول (٢) المتوسط الشهري والسنوي وأكبر كمية للأمطار في شمال عمان (مم)

المحطة	الأمطار	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيه	يوليه	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط السنوي
خصب	م	٤٤,٨	٥١,٩	٤٦,٨	١٢,٢	١	٠	٠,٩	٣,٣	٠	١,٥	٧,٧	٥٠,٩	٢١٣,٨
	ك	١٤٩	١٨٤,٤	١٤٧,٣	١٠٢,٧	١٩,٤	٠	١٠,٦	٦٣,٤	٠,٢	٢٧,١	٦٩,٨	٢٦٩,٧	
البريمي	م	٦	٢٦,٨	١٩,٦	٦,٣	٢,٧	٠,٦	١٢,٧	٣,٣	٣	٠,٢	٠	١١,٤	٩٣,٢
	ك	٢٨٦	١٥٠,٣	١١٥	٣٦,٢	٣٢,٩	٥,٨	١٧٤	٢٦	٢٦,٥	٤,٥	٠,٥	٨٥	
صحا (مجيس)	م	١٣,٧	٣٩,٣	٢١,٤	٦,٦	١,٣	٠	٢,٥	٠,٣	٠,٢	٧,٧	٣,٥	٢١,٩	١٢٠,٢
	ك	٨٢,٣	٢٣٥,٣	٧٤,٨	٢٤,٤	١٤,٩	–	٤٥,٣	٤,٥	٤,٦	١٢٧,٢	٢٤,٧	١٨٧,٤	
سيق	م	١٩,٩	٤٥	٦١,٩	٣٩,٧	٢٧,٧	١٢,٩	٥٠,١	٥٩,٣	٢٦,٧	٨,٨	٦	١١,٩	٣٧٠,٤
	ك	١٤٢	٣٠٠	٤٠١,٩	١٦٢,٨	٩٥	٨٥,٣	١٧٧,٧	١٥٧,٥	١٠٦,٦	٨٦,٣	٤٣	٦٥	
سيب	م	١١,٦	٢٠,٣	١٨	١١,٤	٣,٤	٠,٥	٣,٢	١,٦	٠	٠,٩	٤,٩	١٣,١	٨٨,٧
	ك	٥٠,٥	٥٩,٦	١٤٥,٤	٦٧,٣	٦٩,٢	٩,٩	٦٨,٣	٢٦,٦	٠,٢	١٣	٧٥,٧	١١٢,٣	
مسقط	م	٩,٤	٢٦	٧,٤	٩,٨	–	٠,٩	–	١,٧	٠	٠,٢	٢,٩	٦,٨	٦٥,١
	ك	٦٣,١	٩٢,٤	٥٠,٢	٣٩,٥	–	٨,٦	–	١٧,٢	٠	٢,١	٢٩	٣١,٦	
نزوى	م	٧	١٤,٥	٣٧,٦	٤,٢	١٠,٢	١,٧	١٦	٦,٧	٠,٨	٠,٦	٠	٧,٤	١٠٧
	ك	٤١,٥	٧٤	٢٣٥,٥	١٩,٧	٤٤,٨	١٤	٥٨,٥	٣٥	٦,٥	٤,٩	٠,١	٤٣	
فهود	م	٠,٧	٦,٣	٥,٩	٦,٤	٠	٠	١,٣	٢,٨	٠,٦	٠	٠	٠,٧	٢٣,٧
	ك	٥,٧	٣٣,٨	٢٣,٧	٥٠٢	٠,٣	٠	١٠,٣	٧,٥	٤	٠	٠	٣,٨	
صور	م	١٦,١	٢٥	١٥,٦	١٠,٩	١,٨	٤,٩	٣,٣	٢,٩	٠	١,٩	٨,٧	١١,١	١٠٢,٢
	ك	٩٩,١	١٩٧,١	١٠٣,٦	٤٠,٦	٢٨,٨	٣٠,١	٢٨	٣٧,٦	–	٢٦,٩	٦٦,٩	٨٣,٧	

م : متوسط شهري　　ك : أكبر كمية مطر شهري　　المصدر : Annual Climate Summary, 1997

ثانياً : خصائص شبكة الطرق البرية
فى شمال سلطنة عمان

اتضح من دراسة الجوانب الطبيعية أن شمال عمان ذا طبيعة جبلية واضحة، وقد لوحظ من دراسة خريطة الطرق (شكل ١) والدراسات الميدانية أن للتضاريس أثر واضح على تخطيط الطرق واتجاهاتها، ولا يقتصر أثر التضاريس على تحديد مواقع هذه الطرق فقط بينما يتعدى ذلك إلى أن يسير الطريق بشكل إجباري في مسار محدد، ويتحتم إقامة العديد من المنشآت لحماية الطرق من الأخطار المختلفة التي تتعرض لها من جراء تواجدها في هذه البيئة.

تختلف الطرق في عمان وفقاً لمعايير تصنيفها، فمنها الطرق المرصوفة المزدوجة والطرق المفردة المرصوفة والطرق الممهدة، ويبلغ أطوالها في عمان كما يلي : الطرق المزدوجة المرصوفة يبلغ طولها ٥٤٧ كم، والطرق المفردة المرصوفة يبلغ طولها ٥٩٨٧ كم، بينما الطرق الممهدة يبلغ طولها ٢٤٧٤٨كم تبعاً لإحصائية عام ١٩٩٦*. وتختلف معايير تصنيف الطرق بصفة عامة حيث يمكن تصنيفها تبعاً لحجم المرور عليها أو التبعية الإدارية أو تصنيفها وظيفياً أو تبعاً لجودتها بالإضافة إلى تصنيفها تبعاً لطرق المعالجة السطحية (حسن سيد، ١٩٩٢، ص١٤٨) ونحن لن نخوض في هذه التقسيمات ولكن سوف نشير إلى خصائص الطرق في نبذة قصيرة بما يفيد في دراستنا. وتنقسم الطرق في السلطنة إلى طرق معبدة إسفلتية وهي

(*) وزارة التنمية، الكتاب الإحصائي السنوي، الإصدار الخامس والعشرون، أغسطس ١٩٩٧.

تتضمن الطرق المزدوجة والمفردة، بينما الطرق الممهدة فهي إما حصوية أو ترابية. وقد اشتركت في رصف وتمهيد هذه الطرق كل من وزارة المواصلات ووزارة الدفاع وشركة تنمية نفط عمان وبلدية مسقط، وتوضح الخريطة شكل (١) شبكة الطرق في شمال عمان وهي التي سوف تركز عليها دراستنا بصفة أساسية.

اتضح من دراستنا لخصائص شبكة الطرق البرية أن الطريق الممتد من مطرح حتى الوديات هو أهم الطرق المزدوجة ويبلغ طوله ٢٩٣كم ويربط بين المدن الساحلية الواقعة على سهل الباطنة، بالإضافة إلى طريق وادي حتى المتجه إلى دولة الإمارات العربية ويبلغ طوله ٧٠ كم، بالإضافة إلى الطرق الداخلية في العاصمة مسقط. بينما الطرق المفردة فهي أكثر انتشارا وامتدادا وتربط بين المدن الداخلية والمدن الساحلية، وأهمها طريق نزوى - صلالة ويبلغ طوله حوالى ٨٦٣كم وهو خارج موضوع دراستنا الحالية، أيضاً من هذه الطرق طريق الشرقية الممتد من بدبد حتى صور ويبلغ طوله حوالى ٢٦٨كم، والطريق الممتد من بدبد مروراً بنزوى وعبرى والبريمي ويبلغ طوله حوالى ٤١٢كم، ويوضح الجدول رقم (٣) أهم الطرق البرية في شمال عمان والتى سوف نتناولها بالدراسة وتحديد مناطق الخطورة عليها. أما الطرق الممهدة فهي طرق ترابية وحصوية وتبلغ أطوالها أربعة أضعاف الطرق المرصوفة تقريباً، وهي طرق تربط بين التجمعات السكانية الصغيرة المنتشرة داخل الأودية وفي المناطق الجبلية، كما أن بعضها يعبر جبال الحجر ويربط بين الطريق الساحلي وطريق نزوى - عبرى - البريمي على الجهة الجنوبية الغربية من جبال الحجر الغربي مثل طريق وادي الحواسنة الذي يمتد من الطريق الساحلي قرب الخابورة حتى عبرى بالإضافة إلى العديد من الطرق الجبلية مثل طريق بركة الموز - سيق

والطرق التي تصل إلى حقول البترول في غرب عمان مثل الطرق إلى فهود وجبال.

جدول رقم (٣) أطوال الطرق الهامة في شمال عمان ومؤشر انعطافها *

الطريق	الطول الفعلي للطريق (كم)	الطول الافتراضي المستقيم (كم)	مؤشر الانعطاف (٪)
مطرح--خطمة ملاحة	٣١١	٢٧٣	١١٣,٩
مطرح - قريات	٩٤	٥٢	١٨٠,٨
بدبد - صور	٢٦٨	١٦٩	١٥٨,٦
بدبد - نزوى	١٠٥	٨٠,٦	١٣٠,٣
نزوى - عبرى	١٣٣	١١٠,٥	١٢٠,٤
رستاق - بركة	٨٥	٥٧,٢	١٤٨,٦
صحار - البريمي	١٢١	١٠٤	١١٦,٣
نزوى - آدم	٦٣	٥٨,٥	١٠٧,٧
السيب - بدبد	٥١	٣١,٢	١٦٣,٥
إجمالي الطرق	١٢٣١	٩٣٦	١٣١,٥

ونلاحظ من خريطة شبكة الطرق في شمال عمان كثرة تعرجات الطرق فهي لا يتيسر لها أن تسير في خط مستقيم في معظم الأحيان، فالخط المستقيم هو أقصر الطرق بين مدينتين إلا أن معظم الطرق في شمال عمان تنحرف انحرافاً سلبياً Negative Deviation ويقصد به انحراف الطريق لتفادي

(*) جمعت أطوال الطرق من خريطة عمان مقياس ١/١٣٠٠٠٠٠ وجدول المسافات المرفق بها بينما الطول الافتراضي المستقيم للطريق ومؤشر الانعطاف من حساب الباحث.

المناطق الجبلية أو الأودية، بينما الانحرافات الإيجابية Positive Deviation للطرق فهي قليلة وتتمثل فقط في بعض أجزاء طريق الشرقية وعبرى، وقد استخدم هذان المصطلحان هاجيت (Haggett, et al, 1977). ويدل مؤشر الانعطاف* Detour Index على مدى استقامة الطريق وقربه من الخط المستقيم، ويدل اقتراب قيمة مؤشر الانعطاف إلى النسبة ١٠٠٪ على أن الطريق يقترب من الخط المستقيم وبالتالى يصل الطريق إلى أقصى كفاءة له من حيث المسافة، أما إذا زاد عن النسبة ١٠٠٪ فيدل ذلك على وجود انحناءات على الطريق (سعيد عبده، ١٩٨٩، ص ١١٢). ويتضح من الجدول أن مؤشرات الانعطاف للطرق المختارة تبتعد كثيراً عن ١٠٠٪، ويبلغ مؤشر الانعطاف لمجموع الطرق المختارة ١٣١,٥ ٪، ويبتعد مؤشر الانعطاف عن نسبة ١٠٠ ٪ لبعض الطرق مثل الطريق من مطرح إلى قريات ومن السيب إلى بدبد ومن بدبد إلى صور ومن الرستاق إلى بركة، ويدل ذلك على قلة كفاءة هذه الطرق لعبورها مناطق جبلية وأودية تجرى بها السيول من وقت إلى آخر. بينما الطريق من نزوى إلى آدم فهو أكفأها من حيث المسافة حيث يبلغ مؤشر الانعطاف ١٠٧,٧ ٪، يليه الطريق من مطرح إلى خطمة ملاحة حيث يبلغ مؤشر الانعطاف ١١٣,٩ ٪ وهو يسير في قوس موازى لخط الساحل، يليه طريق صحار - البريمي، ثم طريق نزوى - عبرى.

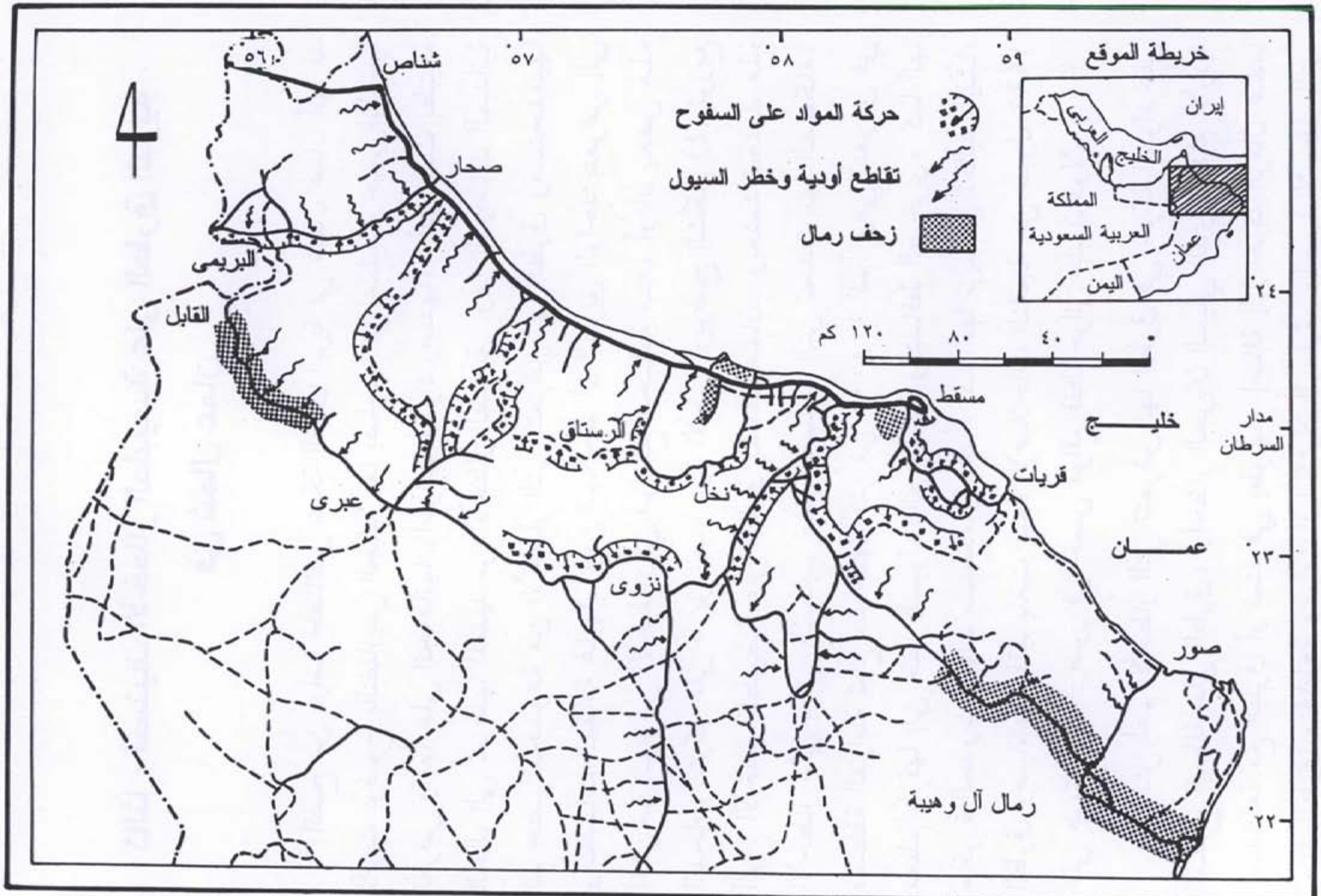
* * *

* مؤشر الانعطاف هو النسبة المئوية بين الطول الفعلى للطريق والطول الافتراضي المستقيم له.

ثالثاً : تصنيف الأخطار الطبيعية على الطرق البرية فى شمال عمان

اتضح من دراسة خصائص شبكة الطرق البرية في شمال عمان أنها قد تأثرت بوضوح بالتضاريس الجبلية وما يصاحبها من عمليات جيمورفولوجية تفرض واقعاً على اتجاهاتها وأطوالها ومواد رصفها، وأدى ذلك بطبيعة الحال إلى تعرضها للعديد من الأخطار الطبيعية. ومن الدراسات الميدانية تم حصر مجموعة من الأخطار التي تتعرض لها الطرق ومستخدميها والمنشآت المقامة عليها، ومن الملاحظ أن الطريق الواحد يتعرض إلى أكثر من نوع من الأخطار في مواضع مختلفة منه، أو أن بعض هذه المخاطر تتركز على طريق بعينه دون الآخر. ويوضح الشكل (٤) توزيع أنواع الأخطار الطبيعية على الطرق بشمال عمان. ويعتمد تحديد هذه الأخطار على بعض المعايير مثل المساحة التي تحدث بها المشكلة، فمنطقة الدراسة تبلغ مساحتها أكثر من ١٠٠٠٠٠ كم^{٢} وهي تتعرض في معظم طرقها إلى خطر السيول والفيضانات والتساقط الصخري، كما أنها متكررة الحدوث وتهدد مستخدميها دائماً، كما أنها تزيد من تكاليف إنشاء الطرق وصيانتها، فقد بلغت قيمة الإصلاحات الناتجة عن سيول ١٩٩١ على طريق بدبد - صور في خمس مواقع فقط حوالى مليون دولار.

وتتمثل أهم الأخطار التي تتعرض لها الطرق في حركة المواد على السفوح المطلة على الطرق، وأخطار الجريان السيلي الذي تحدثه الأودية المتقاطعة مع الطرق أو تمتد في بطونها، إضافة إلى حركة الرمال عندما تمتد الطرق متقاطعة مع امتداد الكثبان الرملية، وأخيراً الأخطار التي



شكل (٤) توزيع الأخطار الطبيعية على الطرق البرية الرئيسية في شمال عمان.

يتعرض لها مستخدمى الطرق عند تعرجاتها لتفادي المناطق المتضرسة مما يحجب الرؤية وتصبح مفاجئة عند المنحنيات. وفيما يلي سوف نتناول بالدراسة هذه الأخطار والعوامل التي أدت إليها، مع ذكر المناطق التي تأثرت بها من خلال دراسة الطرق الرئيسية في شمال عمان، ثم وسائل الحماية المتبعة للحد من المخاطر وتجنبها.

ا - حركة المواد على السفوح المجاورة للطرق :

تعتبر حركة المواد على السفوح من أهم الأخطار التي تتعرض لها الطرق الجبلية في عمان، سواء كانت هذه السفوح طبيعية أو سفوح صناعية تكونت بسبب تدخل الإنسان، فجميعها معرضة للحركة وعدم الاستقرار. وتمثل سفوح جوانب الأودية الجافة أكثر السفوح تعرضاً لعمليات التساقط الصخري والزحف الصخري والانهيارات، ويرجع ذلك في المقام الأول لعمليات النحت الرأسي والجانبي التي تتعرض لها الأودية مما يساعد على الحركة وعدم الاستقرار، وتتعرض جميع الطرق المرصوفة والممهدة والترابية التي تعبر هذه الأودية - في كثير من أجزائها - إلى خطر التساقط الصخري والانهيارات. وتعتبر السفوح بصفة عامة معرضة للحركة وعدم الاستقرار، وتتدرج هذه الحركات بين الحركات البطيئة والسريعة والمفاجئة، والأخيرة هي الأكثر خطورة على المناطق العمرانية. وقد تناولت دراسات عديدة تصنيفات مختلفة لحركة المواد على السفوح، وتراوحت هذه التصنيفات بين تصنيف تبعاً لأسباب الحركة، وآخر تبعاً لنوع الحركة، وسرعة المواد، وشكل الحركة، بالإضافة إلى كمية المياه التي تتشبع بها المواد نظراً لأهميتها في المساعدة على تحريك المواد على السفوح.

تعتبر السفوح المنحدرة بيئة مناسبة لحركة المواد عليها، وتتحرك عليها بفعل عدد من القوى، فقوى الجاذبية Gravitation تعمل على تحريك المواد الأرضية على السفوح تساعدها المياه الجارية والأمطار والرياح وقوة الدفع الناتجة عن تصادم الصخور بعضها ببعض والاهتزازات الناتجة عن حركة السيارات على الطرق القريبة من السفوح، كما تعمل قوى أخرى على مقاومة الحركة وتتمثل في قوة رد الفعل Upward reaction force تساعدها قوى مقاومة أخرى هي الاحتكاك Friction بين المواد الصخرية والسفح، وتماسك المواد الصخرية Cohesion (صبرى محسوب، ١٩٩٧، ص ١١٠)، كما أن استقرار السفوح المنحدرة يعتمد على قيمة عملية القص Shear strength value وتكون هذه القيمة قليلة في الانحدارات التي تتراوح بين ١٥° - ٣٥° أو أكثر، كما تختلف قيمة زاوية مقاومة القص تبعاً لاختلاف التكوينات الجيولوجية (Farhan , 1999, P. 44)

وقد صنفت حركة المواد على السفوح في دراسات عديدة مثل: Hanson, 1984; Crozier, 1986; Varnes, 1978, 1984; (Cooke and Doornkamp, 1990, p. 108)، وتدور معظم تصنيفات هذه الدراسات حول أربعة عمليات هي : التساقط الصخري Rock fall، والانزلاق الأرضى Landslide، والزحف الصخري Rock creeping، والحركات السريعة للمواد بعد تشبعها بالمياه. ولقد اعتمدت الدراسة الحالية على المسح الميدانى لعدد من السفوح المتاخمة لبعض الطرق البرية في شمال عمان وتحليل الصور الجوية والفضائية، ولقد اتضح أن حركة المواد على هذه السفوح تتمثل في التساقط الصخري والانزلاقات الصخرية وزحف المواد المفتتة. وتوضح الجداول (٤، ٥، ٦، ٧) الطرق البرية الرئيسية والمواقع التي تأثرت بهذه الحركات وتتعرض لمخاطرها والمحتمل تعرضها أيضاً

للمخاطر، وقد تم تحديد هذه المواقع بواسطة جهاز نظام تحديد المواقع الأرضية (GPS)، وتم تسجيل أهم خصائص هذه المواقع من أنواع الصخور والبنية الجيولوجية وانحدارات السفوح ونوع الحركة السائدة على السفح ودرجة استقرارها وخطورتها.

وقد أكدت دراسات عديدة على وجود مجموعة من العوامل التي تؤدي إلى عدم استقرار السفوح فتؤدي إلى حركة المواد عليها، هذه العوامل تؤثر على مقاومة وإجهاد القص على واجهات السفوح، ويوجد نوعان من العوامل، الأولى : عوامل تعمل على إضعاف مقاومة القص Resistance Shear وهي عوامل داخلية، والعوامل الثانية : تعمل على زيادة إجهاد القص Shear Stress وهي عوامل خارجية (Cooke & Doornkamp, 1990, p. 112)، وتتوقف درجة ثبات السفوح على قيمة كل من مقاومة القص وإجهاد القص، وقد أكدت الدراسات الميدانية أثر هذه العوامل على السفوح في منطقة الدراسة، وتمثل العوامل الجيولوجية أهم هذه العوامل بالإضافة إلى الظروف المناخية والعوامل الجيمورفولوجية والتدخلات البشرية، وفيما يلي سوف نتناول هذه العوامل ومواقع تأثيرها على السفوح المطلة على الطرق مباشرة.

١- العوامل الجيولوجية :

يعتبر نوع الصخور التي تتكون منها السفوح أحد أهم العوامل التي تؤثر على تطورها وتتحكم في حجم وشكل الكتل الصخرية والمفتتات التي تنفصل منها. كما يؤثر ميل الطبقات وعلاقته باتجاه انحدار السفح وارتفاع كثافة الشقوق والفواصل في التكوينات الجيولوجية على نوع حركة المواد وسرعتها وكمية المواد المتحركة، كما يساعد تتابع الطبقات وتفاوت

صلابتها أيضاً على حركة المواد على السفوح. لقد تعرضت عمان خلال تاريخها الجيولوجي إلى حركات تكتونية عنيفة أثرت بوضوح على وضع التتابع الجيولوجي وبنيته، كما أدت إلى تكشف طبقات صخرية عديدة وزيادة درجة ميلها، فالطبقات المائلة أكثر تعرضاً لعمليات التساقط الصخري، وقد ساعد ارتفاع كثافة الشقوق والفواصل كثيراً في تجهيز الصخور لعمليات الحركة المختلفة، كما تختلف الصخور النارية والرسوبية والمتحولة التي يتكون منها القطاع الجيولوجي العماني في استجابتها للحركة، كما تؤدي إلى اختلاف صورها على السفوح.

تحتوي الصخور على مظهرين من مظاهر الضعف الصخري : مظهر الضعف الصخري النوعي المتمثل في الخصائص الليثولوجية للصخر، ومظاهر الضعف المكتسبة المتمثلة في الشقوق والمفاصل وسطوح التطابق (سلامه، ١٩٨٣، ص٦). وقد تبين من خلال دراستنا للوضع الجيولوجي لعمان أن صخور أفيوليت سمائل النارية المنقولة من المحيط تمثل معظم الصخور المكشوفة في جبال الحجر بشمال عمان، وقد وضح فيها أثر مظاهر الضعف الصخري النوعي والمكتسب، وتتألف هذه التكوينات من صخور الجابرو والبيروديت والهارزبرجت والديوريت وهي صخور قاعدية أقل مقاومة لعوامل التعرية، و تكثر بها الشقوق والفواصل نتيجة للحركات التي تعرضت لها عبر العصور الجيولوجية المختلفة. كما تتخلل الصخور الجيرية والطفل والكنجولوميرات الكتل الرئيسية للأفيوليت. ولقد تأثرت مناطق التساقط الصخري والانزلاقات بنوع الصخور ووضع الطبقات الصخرية، فكثير من الانزلاقات والانهيارات تحدث في المناطق التي تتقطع فيها الطبقات الصخرية بواسطة الأودية وما تحدثه من عمليات نحت رأسي وجانبي يساعد على انهيارات جوانبها، كما

تحدث أيضاً في المناطق الصدعية شديدة الانحدار أو المناطق التي قطعت فيها الصخور نتيجة لتدخل الإنسان لشق الطرق وبناء المنشآت العمرانية. كما وضح أثر التباين الصخري بين الصخور الصلبة واللينة في حركة المواد، إضافة إلى أثر التجوية في توفير الكتل الصخرية والمفتتات التي تتحرك على السفوح.

ولقد وضح في عديد من المناطق على جوانب الطرق أثر نوعية الصخور على حركة المواد، ففي طريق الشرقية ولمسافة تصل إلى ٢٤ كم يمتد الطريق داخل وادي العق - وهو من أكثر المناطق خطورة في شمال عمان - تظهر صخور الجابرو والديوريت والهرزبرجت على جوانب الطريق على هيئة سفوح شديدة الانحدار معظمها رأسية وشبه رأسية وتمثل خطورة دائمة على الطريق حيث تتعرض هذه السفوح إلى عملية التساقط الصخري مما يستدعى دائماً تجريف هذه السفوح للتخلص من الأجزاء السطحية المفككة الآيلة للسقوط. كما يظهر في منطقة العاصمة- مسقط- وخاصة على طريق مرتفعات القرم الصخور الجيرية التي ترتكز على الطفل وينشط بذلك أثر التفاوت الصخري حيث تظهر الكتل الصخرية كبيرة الحجم من الحجر الجيري المحتمل سقوطها نتيجة لارتكازها على طبقات الطفل اللينة، وتزداد خطورتها إذا ما تشبعت هذه الطبقة بمياه الأمطار مما يساعد بطبيعة الحال على انزلاق الكتل الصخرية المرتكزة عليها. كما يظهر أيضاً أثر التفاوت الصخري على المنشآت المقامة على طريق نزوى - عبرى قرب قرية المفرق حيث يتم تقطيع أقدام الجبال لإقامة المنشآت. وتظهر اللوحة رقم (١) ارتكاز صخور الحجر الجيري على الطفل، ويظهر زحف الكتل الصخرية الجيرية على المنحدر، كما توضح اللوحة (٢) احتمال تساقط بعض الكتل الصخرية المرتكزة على طبقة الطفل خلف بعض المنشآت في

نزوى. كما وضح من الدراسة أن أشكال السفوح تتأثر بنوعية وصلابة الصخور، فكلما زادت صلابة الصخور نتج عنها سفوح شديدة الانحدار والعكس.

ولا يقل ميل الطبقات أهمية عما سبق من العوامل الجيولوجية من نوع الصخور وكثافة الشقوق والمفاصل والتباين في صلابة الصخور، فحركة المواد يزداد تأثيرها عندما يكون ميل أسطح الطبقات وأسطح الشقوق موازياً لاتجاه المنحدر أو أقل منه انحداراً، خاصة عندما تكون هناك شقوق عمودية على اتجاه ميل الطبقات مما يساعد على نشاط التساقط الصخري، وتوضح خرائط البنية الجيولوجية لشمال عمان كثافة الصدوع والطيات التي تأثرت بها جبال عمان كما توضح عدة اتجاهات لها تكاد تكون متعامدة، وتتركز محاور اتجاهاتها في اتجاهين، الأول : شماليشرقي- جنوبي غربي، والثاني : شمالي غربي- جنوبي شرقي (Lippard,1986, p. 15)، وقد وضح أثر ميل الطبقات في أكثر من موقع في منطقة الدراسة وتوضح اللوحة (٣) أثر ميل طبقات صخور الجابرو على سطح السفح في وادي العق مما يساعد على زيادة نشاط التساقط الصخري وزيادة حجم الكتل الصخرية المتساقطة، كما تظهر اللوحة (٤) شكل التساقط الصخري وحجم الكتل المتساقطة في منطقة العقبة على الطريق من مطرح إلى قريات حيث يظهر الطفل والطين الجيري في صورة طبقات يتراوح سمكها بين ١٠ - ٢٠ سم ويبلغ ميل طبقاتها حوالى ١٩° ويقل بذلك ميل سطوحها عن انحدار السفح مما يؤدي إلى نشاط واضح في عملية التساقط الصخري في صورة كتل كبيرة الحجم، ويبلغ نشاطها حد الارتطام بالسياج المعدني المقام على جانبي الطريق لحمايته من خطر التساقط وهدمه في بعض الأحيان.

وتتميز معظم جوانب الأودية في شمال عمان بسفوح شديدة الانحدار

تكاد تكون معظمها رأسية تماماً وتكثر بها الشقوق والفواصل نظراً لأن بعضها يمتد داخل الصدوع التي تأثرت بها الجبال مثل أودية سمائل وآهن والجزى وحتا وهام، مما يساعد على نشاط عملية التساقط الصخري، ويحدث التساقط الصخري بداية بتكون بعض الشروخ في الصخور ثم يزداد اتساعها بفعل عمليات عديدة مثل التجوية الميكانيكية والكيميائية أو بفعل الجاذبية الأرضية ثم تنفصل وتسقط، وتعمل الأنظمة المختلفة من الفواصل والشقوق المتعامدة على فصل الكتل الصخرية الكبيرة الحجم على واجهات السفوح. وتظهر اللوحتان (٥، ٦) السفوح الرأسية وأثر الشقوق والفواصل عليها، كما توضح ضخامة الكتل الصخرية المتساقطة من هذه السفوح على جانبي الطريق وقربها منه وما تمثله من خطورة على مستخدميه.

٢ - العوامل الجيمورفولوجية :

تتمثل العوامل الجيمورفولوجية التي تؤثر في حركة المواد على السفوح في التجوية بشقيها الميكانيكي والكيميائي وهي تساهم في توفير المفتتات والكتل الصخرية المتحركة، كما تساعد على اتساع الفواصل والشقوق فتؤدي بذلك إلى سرعة سقوطها، كما تؤثر عمليات النحت الرأسي والجانبي بفعل الجريان السطحي على تحرك المواد أيضاً داخل الأودية، إضافة إلى شدة انحدار السفح وطوله.

وتساعد على شدة أثر فعل التجوية الميكانيكية ظروف المناخ القاري السائد والذي يتميز بارتفاع المدى الحراري اليومي والفصلي، وقد أوضحنا في جزء سابق أن المدى الفصلي يزيد على ٣٠°س بين الصيف والشتاء، كما أن التفاوت الحراري اليومي بين الليل والنهار يتراوح بين ١٤° - ٢١,٨° س في شهور الشتاء بمتوسط قدره ١٨,٨° س، كما يتراوح بين

١٠,٧° - ٢٥,٣° س في شهور الصيف بمتوسط قدره ٢١°س. ويتأثر المدى الحراري اليومي بالارتفاع عن مستوى سطح البحر ففي سيق يبلغ المدى الحراري اليومي في الصيف ١٦,٤° س، ويبلغ ١٩,٢°س في شهور الشتاء، كما يتأثر المدى الحراري اليومي أيضاً بالقرب والبعد عن المسطحات المائية ففي السيب يبلغ ١٦,٤° س في شهور الصيف، ويبلغ ٢٠,٣° س في شهور الشتاء، بينما يصل في المناطق الداخلية إلى ٢٥,٣° س في نزوى في شهور الصيف ويبلغ ٢٠,٩° س في شهور الشتاء. ويؤدي تعرض التكوينات الصخرية للحرارة المرتفعة نهاراً والبرودة ليلاً إلى تكون شقوق صخرية عمودية Vertical Joints يزداد اتساع فتحاتها يوماً بعد يوم ويؤدي إلى تقسيم الحافات الصخرية (Abou El-Enin, 1993, p. 44) مما يساعد على انفصال بعض الكتل عن واجهات السفوح.

ويظهر على جوانب معظم السفوح مختلف أنواع التجوية مثل التجوية المتغايرة Differential Weathering حيث تتباين التكوينات بين الصلب واللين كما هو الحال في صخور الحجر الجيري والطفل في منطقة الخوض والعاصمة، كما تأثرت التكوينات الجيولوجية بعمليات التقشر Exfoliation والتفلق بصورة واضحة على معظم المرتفعات والسفوح، ويظهر اتساع الشقوق وتكوين الصخور العمودية على طريق الشرقية وطريق قريات وبالقرب من بهلا وطريق وادي الجزى، كما يظهر أثر عملية التورق في تكوينات الشست المتحولة على امتداد الطريق إلى قريات داخل وادي عدى. وتساعد هذه العمليات على توفير المواد المفككة من مختلف الأحجام على السفوح لتكون بذلك مهيأة للسقوط والحركة (لوحة ٧). وتتميز أحجام الصخور المتساقطة والزاحفة بكبر أحجامها على السفوح الرأسية وشبه الرأسية، بينما السفوح الأقل انحداراً تتفاوت أحجام المفتتات

عليها وتتميز في الغالب بصغرها نظراً لاستقرارها النسبي مما يساعد على زيادة تفتتها إلى أحجام أصغر فأصغر، كما تساعد المفتتات الناعمة ووجود الأمطار والرطوبة على وجود بعض النباتات التي تعمل على استقرار هذه المواد على السفح، مما يقلل من حركة المواد عليها.

يعتبر السفح من حيث درجة انحداره وطوله من العوامل الهامة في حركة المواد على السفوح، فبجانب أن درجات انحدار السفح تعتبر عاملاً هاماً في عدم استقرار أو ثبات المواد على السفوح، نجد أن طول السفح أيضاً يؤثر على درجة استقرار أو عدم استقرار المواد وتحركها أو زيادة احتمالات تحركها، كما أن استواء السطح يساعد على الاستقرار، ويتوقف على درجة الانحدار نوع الحركة والعملية السائدة على السفوح. وتشير المعايير العالمية لتصنيف الانحدارات على السفوح الجبلية إلى أن درجات الانحدار المرتفعة الموجودة بجوار الطرق لا تصلح لإقامة المنشآت أو الاستخدامات البشرية وهي التي تتراوح بين ٢٦,٥° = ٤٥ °، كما تعتبر الانحدارات الأقل من ٥,٥° انحدارات معتدلة يمكن استخدامها في الإنشاءات (عبد الباقى، ١٩٩١، ص١٣٧).

ولقد اتضح من الدراسة الميدانية أن السفوح المطلة على الطرق تراوحت زوايا انحدارها بين ١٠° - ٦٥° بالإضافة إلى بعض السفوح الرأسية تماماً، وتتميز السفوح التي يقل انحدارها عن ٢٦° بوجود المفتتات الصخرية مختلفة الأحجام ويسود على هذه السفوح عملية زحف المفتتات والصخور، وتصبح درجة الخطورة عليها متوسطة وضعيفة (جداول ٤، ٥، ٦، ٧). وتتمثل خطورة هذه السفوح أثناء أو بعد هطول الأمطار حيث تحدث عمليات غسل لهذه السفوح فتقطع هذه المفتتات الطرق وتعرض مستخدميها للخطر.

وتحدث عملية التساقط الصخري على السفوح شديدة الانحدار والتى يزيد انحدارها عن ٢٦°، وتكثر هذه السفوح عندما تعبر الطرق الأودية الخانقية الضيقة. كما يؤدي تدخل الإنسان لتعديل السفوح وتقطيعها لإنشاء الطرق والمنشآت إلى خلق سفوح رأسية اشد انحداراً من السفوح الطبيعية المجاورة لها التي تتكون من نفس التكوينات، لذلك تصبح معرضة للانهيار والتساقط الصخري (فرحان، ١٩٨٥، ص٩)، وتوجد أمثلة كثيرة على هذه السفوح على معظم الطرق خاصة طريق الشرقية وطريق قريات وطريق وادي الجزى وطريق الرستاق وطرق العاصمة. وتختلف عمليات الحركة على طول القطاع العرضى للسفح الواحد نتيجة لاختلاف درجات الانحدار، فقد تتعرض أعالى السفوح لعمليات الزحف الصخري بينما تتعرض الأجزاء السفلى منه للتساقط الصخري خاصة عندما تتعرض لعمليات النحت الرأسي، وأيضاً في الأجزاء التي يتم تعديلها نتيجة لتدخل الإنسان.

يلعب طول السفح دوراً هاماً بجانب شدة الانحدار في درجة ثباته واستقراره، حيث أن أي سفح بزاوية ثابتة يصبح أقل استقراراً مع زيادة طوله وثبات زاوية انحداره (محسوب، ١٩٩٦، ص١٦٥)، وتتراوح ارتفاعات السفوح على جوانب الطرق بين عدة أمتار ومئات الأمتار، وينعكس طول السفح على طريقة الحماية المتبعة لسلامة الطريق ومستخدميه، حيث يتم تقطيع السفح في صورة مدرجات عديدة يزداد عددها بزيادة طول السفح كما هو الحال على الطريق قرب فنجة (لوحة ٩) وفي مرتفعات القرم.

ومن العمليات الجيمورفولوجية الهامة التي تؤثر بشكل كبير على تحرك المواد على السفوح النحت الجانبي والرأسي داخل الأودية حيث تتكون سفوح رأسية واضحة ناتجة عن عملية النحت، هذه السفوح تصبح عرضة لحركات

الصخور المكشوفة وتساقطها لكونها قد أصبحت بيئة مناسبة لزيادة نشاط التساقط واحتمالات حدوثها عليها. وتتميز الأودية في أجزاء كثيرة من عمان بارتفاع جوانبها وشدة انحدارها، ونظراً لأن معظم هذه الأودية موسمية الجريان لذلك نجد أن عمليات النحت في الوقت الراهن تساهم بقدر ضئيل في تكوين هذه الجوانب إلا في حالات الجريان السيلي الشديدة، وترجع هذه السفوح لعصور سابقة، لذلك نجد آثار الانهيارات وركامات المفتتات على جوانبها تتميز بكبرها خاصة الأودية التي تمر بها بعض الطرق الممهدة والترابية مثل وادي غول ووادي تنوف ووادي بني خروص وغيرها من الأودية التي يظهر على جوانبها الكتل الصخرية الضخمة المنفصلة من واجهات السفوح.

وتؤثر مياه الجريان الحالى بصورة واضحة حالياً على النحت في رواسب المدرجات النهرية ورواسب المراوح الفيضية القديمة التي تكونت في الوادي، وتصبح هذه الرواسب مهيأة للانهيال وتعرض المنشآت المقامة داخل الوادي والمقامة في الغالب أعلى هذه المدرجات للخطورة كما هو الحال قرب قرية غزين في وادي الحواسنة، وقرية الحوبة ومسفاة الشريقيين في وادي بني خروص.

٣ - العوامل المناخية :

مما لاشك فيه أن ظروف المناخ في المنطقة تعد أحد العوامل الهامة في حركة المواد على السفوح، فالتفاوت الحراري الفصلي واليومي قد تم الإشارة إليهما في العوامل الجيومورفولوجية وما يؤدياه من تفاوت في معدلات التمدد والانكماش للمعادن التي تتكون منها الصخور، و يؤدي ذلك إلى زيادة مفتتات التجوية والكتل الصخرية التي تتحرك على السفوح وتصبح مصدر خطورة.

كذلك مياه الأمطار رغم عدم انتظامها وقلة كميتها، إلا أنها تتميز عند سقوطها بشدتها وفجائيتها فتعمل على تحريك الصخور والمفتتات على السفوح. كما تؤدي الأمطار أحياناً إلى تشبع التربة فيقل ضغطها على سطح السفح وبالتالى تقل قوة احتكاكها مما يؤدي إلى تحركها، لذلك يعتبر الماء أحد المدخلات الرئيسية في نظام السفح فهو يؤثر على درجة استقراره وهذا يفسر حدوث الانهيارات أثناء وبعد سقوط الأمطار (محسوب، ١٩٩٦، ص١٦٤).
كما يؤدي زيادة معدلات تسرب المياه إلى باطن الأرض إلى ضعف مقاومة المواد الأرضية لعوامل القص فتصبح معرضة للحركة، كما يحدث أحياناً أن تتشبع طبقات الطفل وتنتفش بواسطة مياه الأمطار فتؤدي إلى عدم استقرار السفوح وتساعد على حركة المواد عليها. وقد ظهر أثر العملية في بعض السفوح المطلة على العاصمة في منطقة الوطية حيث أدى وجود خليط من الحجر الجيري والطفل الذي ينتمى إلى تتابع أروما التابع إلى عصر الكريتاسي وتشبعها بمياه الأمطار أحياناً تشبعها بالمياه المتسربة من خزانات المياه إلى حدوث انهيارات في مناطق مختلفة من العاصمة أدى إلى تدمير بعض المنشآت، وسوف نشير إلى ذلك فيما بعد.

٤ - العوامل البشرية :

قد يؤدي تدخل الإنسان لشق الطرق وبناء المنشآت إلى زيادة نشاط حركة المواد على السفوح وعدم استقرارها. فكثير من الأحيان يضطر الإنسان لتقطيع أجزاء من الجبال أو المحدبات البارزة منها لكي يصل إلى الميول المناسبة لطريق ما ويؤدي ذلك إلى خلق بعض السفوح الرأسية على جانبي الطريق مما يساعد فيما بعد على زيادة نشاط عوامل التجوية وتفتيت واجهة السفح الجديد، ويؤدي ذلك بدوره إلى زيادة نشاط حركة المواد على السفوح

واحتمالات الخطورة على الطريق. وتمثل هذه السفوح نسبة كبيرة من السفوح الخطرة على الطرق في عمان، وقد أشير إلى هذه العملية عند الحديث عن شدة انحدار السفوح وأثرها على تحرك المواد، كما تتمثل أيضاً الآثار السلبية لتدخل الإنسان في اقتطاع بعض المناطق الجبلية لبناء بعض المنشآت على أطراف المراكز العمرانية المتاخمة للجبال، ويصاحب ذلك خطورة على هذه المنشآت على المدى الطويل، وتتمثل هذه العملية في منطقة العاصمة حيث تقترب الجبال من البحر ويضيق السهل الساحلي بصورة واضحة مما يؤثر على الامتداد العمرانى للمدينة فتتجه صوب السفوح لتقطيع أجزاء منها أو تمتد داخل بطون الأودية وهذه تمثل خطورة أخرى، وتظهر هذه العملية في مسقط ونزوى ومعظم المراكز العمرانية القريبة من الجبال في عمان.

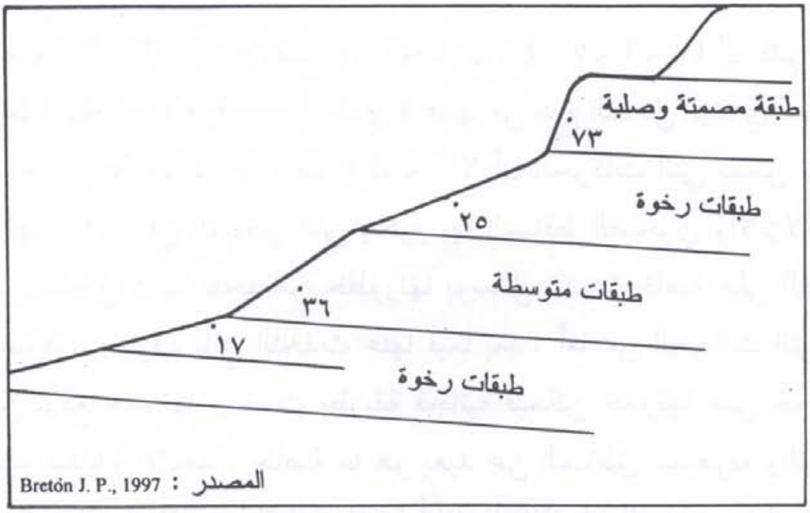
ولقد اتضح من دراسة السفوح أن معظمها بلغ درجة الاتزان في كثير من أجزائه في ظل ظروف الجفاف الذي ساد شمال عمان منذ ٥٠٠٠ عام، إلا أن تدخل الإنسان وحدوث ظروف غير عادية مثل الأمطار الغزيرة قد يؤدي إلى الإخلال باتزانها واستقرارها مما يؤدي إلى حدوث حركة المواد عليها. ويتمثل تدخل الإنسان في بناء وتوسيع المنشآت في اتجاه أقدام السفوح فيعمل على تقطيعها مما يؤدي إلى وجود سفوح صناعية سلمية الشكل قد يصل ارتفاع الواحد منها إلى عشرة أمتار، مما يؤدي إلى عدم استقرار السفوح التي كانت قد بلغت حالة الاستقرار والاتزان على مدى آلاف السنين، وقد تحتاج هذه السفوح إلى زمن طويل لكي يعود السطح إلى اتزانه من جديد في ظل ظروف الجفاف والاستقرار، ويوضح الشكل (٦) نموذج لما يمكن مشاهدته في مناطق عديدة من عمان.

وقد حدثت بعض الانهيارات في أجزاء من مسقط نتيجة لتعديل السفوح مثل منطقة الوطية حيث تتكون التلال القريبة من المنطقة من تتابع أروما التابع

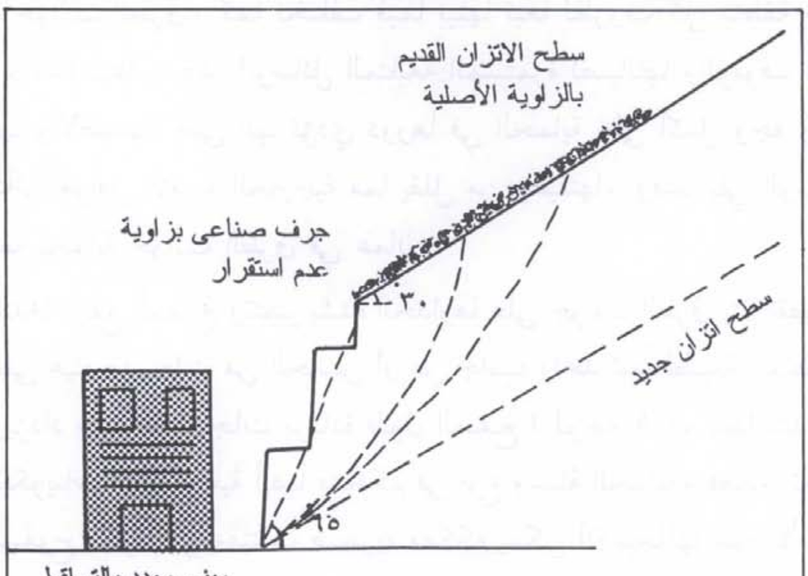
لعصر الكريتاسي وهي صخور تتكون من صخور الحجر الجيري والطيني والطفل والشست وهي صخور غير متماسكة وتغطيها من أعلى طبقة صلبة، هذا التفاوت في الصلابة في التكوينات الجيولوجية أدى إلى حدوث تساقط صخري بعد تقطيع أقدام التلال وعمل مدرجين للبناء بجوارهما، وقد حدث الانهيار نتيجة لعدم استقرار السفح، إضافة إلى أن غزارة الأمطار أثرت على خاصية إجهاد القص للصخور فأدى ذلك إلى حدوث التساقط الصخري بعرض ٥٠ متر، وقد احدث الانهيار بعض الشقوق في السفح مما قد يسبب حدوث انهيارات أخرى عند تساقط الأمطار، ويوضح الشكل (٥) قطاع عرضى للتلال المتاخمة لمنطقة الوطية، كما توضح اللوحة (٨) التلال المجاورة لمنطقة الوطية ومنطقة التساقط الصخري الذي حدث عليها.

كما حدث أيضاً تساقط صخري في منطقة حلة السد عند تقطيع التلال في تكوينات مطى وهي تكوينات قليلة المقاومة فأدى ذلك إلى حدوث التساقط الصخري، كما حدثت انهيارات مماثلة في منطقة الوادي الكبير نتيجة لعمليات تقطيع الجبل بجوار بعض المنشآت الصناعية ولذلك يجب أن تتم عمليات التقطيع في الجبال بعد دراسة جيولوجية وهندسية وجيمورفولوجية مستفيضة (Breton, 1997).

يتضح مما سبق أن السفوح المتاخمة للطرق منها ما هو مستقر ولا يمثل خطورة في الوقت الراهن ومنها ما هو غير مستقر حيث تنشط عليه حركة المواد المفككة من تساقط وزحف صخري وانهيال المفتتات، ويتوقف ذلك على شدة الانحدار لهذه السفوح، ويمكن أن نصنف الأخطار على السفوح بأنها أخطار ناتجة عن سفوح طبيعية وأخطار ناتجة عن سفوح



شكل (٥) قطاع عرضي شرق دوار الوطية يوضح العلاقة بين زوايا الانحدار واختلاف صلابة التكوينات الجيولوجية.



شكل (٦) قطاع عرضي يوضح عدم استقرار السفوح بفعل تكوين الجروف الصناعية

معدلة بواسطة الإنسان، ويتضح من الجداول (٤ ، ٥ ، ٦ ، ٧) أن كثيراً من المناطق المجاورة للطرق وتمثل خطورة عليها من نتاج التدخل البشري لتعديل السفوح ويرتبط بها درجة خطورة قوية. إلا أن الحركات التي يمكن توقع حدوثها وتكون في المناطق التي يتكرر بها التساقط الصخري والانزلاقات يمكن التدخل دائماً للحد من خطورتها بوسائل عديدة خاصة على الطرق المرصوفة، وسوف يأتي التحدث عنها فيما بعد، أما عن الحركات التي لا يمكن توقع حدوثها وتحدث بطريقة فجائية فيمكن حدوثها على جوانب الأودية شديدة الانحدار خاصة ما هو بعيد عن المناطق المأهولة والطرق كثيفة الحركة ولذلك فهي لا تجد اهتماماً لتدخل الإنسان للحد من خطورتها.

وتتعدد وسائل الحماية المتبعة من خطر التساقط والانزلاقات الأرضية على جوانب الطرق، كما تختلف فيما بينها تبعاً لظروف كل منطقة على حدة، كما تتطلب هذه الوسائل المتابعة المستمرة لصيانتها والوقوف على حالتها والاطمئنان على أنها تؤدي دورها في الحماية على أكمل وجه وأنها لم تتأثر بعوامل التعرية الخارجية مما يقلل من وظيفتها، وفيما يلي الوسائل المتبعة لحماية جوانب الطرق في عمان :

- عندما ترتفع السفوح وتتميز بشدة انحدارها على جوانب الطرق يتم تقطيعها على هيئة مدرجات من الجانبين أو من جانب واحد تبعاً لطبيعة المنطقة، ويزداد عدد المدرجات بزيادة طول السفح (لوحة ٩)، كما تتدخل التكوينات الجيولوجية أيضاً فتتحكم في نوع وسيلة الحماية، فعندما تكون السفوح مكونة من مفتتات صخرية مفككة يمكن أن تتخللها مياه الأمطار فتعمل على أضعاف الصخر وتساقطه، ولحماية الطريق من خطر التساقط في هذه الحالة يتم عمل مدرجات ثم تكسيتها بمادة أسمنتية، كما تزود بأنابيب تمتد داخل الصخر لتعمل على تصريف مياه الأمطار التي تسربت

بين الصخور (لوحة ١٠)، كما يتم عمل بعض القنوات العميقة لتعمل أيضاً على تصريف المياه من السفوح بسرعة حتى لا تتسرب وتعمل على أضعاف الصخر. ومن أكثر المدرجات ارتفاعاً المدرجات التي توجد على الطريق إلى بدبد قرب فنجه وطريق مرتفعات القرم.

- يتم تجريف السفوح من وقت إلى آخر لإزالة الأجزاء الخارجية التي تأثرت بعوامل التعرية الخارجية وأصبحت على وشك التساقط والانهيار.
- توضع حواجز مكعبة تتكون من الشبك المعدني أبعادها متر واحد ومليئة بالصخور بجانب السفوح التي تتميز بنشاط عملية التساقط ولها خطورة على الطريق وبمحاذاة السفح، وتوضع في صورة هرم مدرج لتحجز الصخور المتساقطة من الوصول إلى الطريق (لوحة ١١)، ومن أكثر هذه المدرجات وضوحاً المقامة على الطريق إلى قنتب وجصة.
- تثبت بعض السفوح التي تتميز باحتمال انفصال كتل صخرية كبيرة منها بواسطة قضبان حديدية تعمل على تثبيت الكتل المحتمل انفصالها مع السفح ومنعها من التساقط.
- تشجير جوانب السفوح لمنع التساقط الصخري، وتظهر هذه الطريقة على طريق مرتفعات القرم وفي المناطق العمرانية في مسقط وقرب المباني والمنشآت.

جدول (٤) مواقع حركة المواد على السفوح المجاورة لطريق مطرح - قريات.

م	الطريق	الموقع: العرض	الموقع: الطول	درجة الانحدار	نوع الصخر	العملية السائدة	درجة الاستقرار	درجة الخطورة
١	الطريق	°٢٣ ٣٥,٢٦٥	°٥٨ ٣١,٤٧٩	٦٥	حجر جيري ورملى	تساقط وزحف صخري	غير مستقر	قوية
٢	إلى	°٢٣ ٣٤,٧٩٠	°٥٨ ٣١,٤٣٤	٦٥	حجر جيري ورملى	تساقط وزحف صخري	غير مستقر	قوية
٣	قريات	°٢٣ ٣٤,١٥٢	°٥٨ ٣١,٥٤٦	رأسي	حجر جيري ودولوميت	تساقط وزحف صخري	غير مستقر	قوية
٤		°٢٣ ٣٣,٦٠٢	°٥٨ ٣١,٦٣٧	"	حجر جيري	تساقط وزحف صخري	غير مستقر	قوية
٥		°٢٣ ٣٢,٩٦١	°٥٨ ٣١,٩٢٩	"	حجر جيري ودولوميت	تساقط وزحف صخري	غير مستقر	قوية
٦		°٢٣ ٣٢,٦٧٧	٥٨ ٣١,٥٤٤	"	حجر جيري ودولوميت	تساقط وزحف صخري	غير مستقر	قوية
٧		°٢٣ ٣١,٩٧٤	°٥٨ ٣٠,٦٤٣	"	حجر جيري ودولوميت	زحف صخري	متوسط	متوسطة
٨		°٢٣ ٢٧,٣٥١	°٥٨ ٣٠,٢٠٧	"	شست	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
٩		°٢٣ ٢٤,٨٥٥	°٥٨ ٣٠,٦٧٧	٦٠	شست	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
١٠		°٢٣ ٢٣,٥٢٥	°٥٨ ٣٠,٧٤٥	رأسي	شست	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
١١		°٢٣ ٢١,٥١٣	°٥٨ ٣١,٦٥٧	"	شست	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
١٢		°٢٣ ٢١,٠٤٣	°٥٨ ٣٢,٣٦٣	"	شست	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
١٣		°٢٣ ٢٠,٥٤٠	°٥٨ ٣٤,٦٦٦	"	شست	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
١٤		°٢٣ ٢١,٤٩٩	°٥٨ ٣٧,٩٥٩	٦٠	شست	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
١٥		°٢٣ ١٦,٥٣٥	°٥٨ ٤٥,٣٣١	رأسي	حجر رملى	تساقط صخري	متوسط	متوسطة
١٦		°٢٣ ١٥,٧٤١	°٥٨ ٤٥,٩٠١	٦٥	شست	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
١٧		°٢٣ ١٤,٠٢٢	°٥٨ ٤٨,٠٨٠	رأسي	حجر رملى	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
١٨		°٢٣ ١٣,٤٤٠	°٥٨ ٤٨,٤٨٤	"	حجر جيري اسود	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
١٩		°٢٣ ١٢,٩٥٠	°٥٨ ٥١,٥٥٠	"	طفل وحجر طينى	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
٢٠		°٢٣ ١٢,٩٧٤	°٥٨ ٥١,٦١١	٤٥	طفل وحجر طينى	زحف صخري	غير مستقر	قوية
٢١		°٢٣ ١٣,٢٧٨	°٥٨ ٥٣,٢٦٧	٦٠	كنجولوميرات ومارل	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية

المصدر : دراسات ميدانية من عمل الباحث

جدول (٥) مواقع حركة المواد على السفوح المجاورة لطريقى الشرقية والمضيبى.

م	الطريق	الموقع - العرض	الموقع - الطول	درجة الانحدار	نوع الصخر	العملية السائدة	درجة الاستقرار	درجة الخطورة
١	الخوض الشرقية	°٢٣ ٣٤,١٩٤	°٥٨ ١١,٣٨٦	رأسي	حجر جيري	تساقط صخري	مستقر	ضعيفة
٢		°٢٣ ٣٤,١٧٤	°٥٨ ١١,٤٥٧	"	"	"	غير مستقر	قوية
٣		°٢٣ ٣٣,٢٧٨	°٥٨ ١١,٦٣٣	"	كنجولوميرات	"	غير مستقر	قوية
٤		°٢٣ ٣٣,٩٩	°٥٨ ١١,٦٦٤	"	حجر جيري	"	غير مستقر	قوية
٥		°٢٣ ٣٢,٩٣٦	°٥٨ ١١,٦٠٨	"	"	"	غير مُستقر	قوية
٦		°٢٣ ٣٠,٥٣٧	°٥٨ ١١,٥٧٧	٥٠	بازلت	زحف مفتتات	موسطة	متوسطة
٧		°٢٣ ٢٨,٨٩١	°٥٨ ١١,٩٠٧	رأسي	"	تساقط صخري	غير مستقر	متوسطة
٨		°٢٣ ٢٨,٧٧٢	°٥٨ ١١,٨٧٠	"	"	"	غير مستقر	متوسطة
٩		°٢٣ ٢٨,٣٠٤	°٥٨ ١١,٧٥٣	"	جابرو	زحف صخري	متوسطة	متوسطة
١٠		°٢٣ ٢٨,١٨٢	°٥٨ ١١,٦٣٧	"	"	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
١١		°٢٣ ٢٨,٠٧٥	°٥٨ ١١,٥٢٠	"	"	تساقط وزحف صخري	غير مستقر	قوية
١٢		°٢٣ ٢٨,٠٣٤	°٥٨ ١١,١١٧	"	"	تساقط صخري	غير مستقر	متوسطة
١٣		°٢٣ ٢٧,٩٨٢	°٥٨ ٧,٨٤١	"	كنجولوميرات	تساقط كتل كبيرة الحجم	غير مستقر	قوية
١٤		°٢٣ ٢٧,٦١٣	°٥٨ ٧,٠٩٢	"	"	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
١٥		°٢٣ ٢٤,٩٨٢	°٥٨ ٦,٩١١	"	هرزبرجت	تساقط صخري وزحف مفتتات	متوسطة	قوية
١٦		°٢٣ ١٦,٤٥٢	°٥٨ ٦,٣٥٦	٤٥	ديوريت وجابرو	زحف صخري كتل كبيرة الحجم	غير مستقر	قوية

(تابع) جدول (٥) مواقع حركة المواد على السفوح المجاورة لطريقى الشرقية والمضيبى

م	الطريق	المـو قـع		درجة الانحدار	نوع الصخر	العملية السائدة	درجة الاستقرار	درجة الخطورة
		العرض	الطول					
١٧	طريق الشرقية داخل وادي العق	°٢٣ ١٥,١٤٦	°٥٨ ٦,٠٣٧	رأسي	جابروطبقى	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
١٨		°٢٣ ١٤,٩٩٨	°٥٨ ٥,٦١٨	"	"	تساقط صخري كتل كبيرة	غير مستقر	قوية
١٩		°٢٣ ١٤,٦٤٨	° ٥٨ ٥,١٢٨	"	"	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
٢٠		°٢٣ ١٤,٥٠٩	° ٥٨ ٤,٩٤٥	"	"	"	متوسطة	متوسطة
٢١		°٢٣ ١٣,٨٦٣	° ٥٨ ٤,٦٤٩	"	"	تساقط صخري وزحف مفتتات	متوسطة	متوسطة
٢٢		°٢٣ ١٣,٥٣٢	° ٥٨ ٤,٧٥٦	"	"	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
٢٣		° ٢٣ ١٣,٣٨٧	° ٥٨ ٤,٧٣٤	"	"	"	متوسطة	متوسطة
٢٤		°٢٣ ١٢,٩٣٥	° ٥٨ ٤,٦٠٨	٤٥	هرزبرجت	زحف صخري وزحف مفتتات	متوسطة	متوسطة
٢٥		°٢٣ ١٢,٤٦٩	°٥٨ ٤,٨٠٧	رأسي	"	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
٢٦		°٢٣ ١١,٧٦٨	°٥٨ ٥,٠٤٦	"	"	"	غير مستقر	قوية
٢٧		°٢٣ ١١,٢٦٦	°٥٨ ٥,٤٣١	"	"	"	غير مستقر	قوية
٢٨		°٢٣ ١٠,٢٧٨	°٥٨ ٥,٨٥٣	"	"	"	غير مستقر	قوية
٢٩		°٢٣ ٨,٧٤٧	°٥٨ ٧,٢٠٢	٤٥	بيروديت وجابرو	تساقط صخري وزحف صخري	غير مستقر	قوية
٣٠		°٢٣ ٨,٥٤٤	°٥٨ ٧,٥٤٢	٥٥	"	"	غير مستقر	قوية
٣١		°٢٣ ٧,٧١٨	°٥٨ ٨,٤١٨	رأسي	رواسب أودية	تساقط صخري وانهيال	غير مستقر	قوية

(تابع) جدول (٥) مواقع حركة المواد على السفوح المجاورة لطريقى الشرقية والمضيبى

م	الطريق	الموقع: العرض	الموقع: الطول	درجة الانحدار	نوع الصخر	العملية السائدة	درجة الاستقرار	درجة الخطورة
٣٢	الخروج من وادي العق	٢٣° ٥,٨٦٧	٥٨° ١٠,٤٦٦	٥٥	جابرو وبيروديت	زحف مفتتات	متوسطة	متوسطة
٣٣		٢٢° ٥٩,٤٦٣	٥٨° ١٤,٤٨٢	رأسي	"	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
٣٤		٢٢° ٥٨,٨٣٨	٥٨° ١٣,٩١٥	"	"	"	غير مستقر	قوية
٣٥		٢٢° ٥٧,٩٦٦	٥٨° ١٤,٦٦٠	"	"	"	غير مستقر	قوية
٣٦		٢٢° ٥٣,٤٧٤	٥٨° ١٦,٩١٢	"	جابرو	"	متوسطة	متوسطة
٣٧		٢٢° ٥٣,٣٨٥	٥٨° ١٧,٢٥٥	"	جابرو	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
٣٨		٢٢° ٥٢،١٤	٥٨° ١٨,٢٩٥	"	جابرو	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
٣٩		٢٢° ٥٠,٩٤٠	٥٨° ١٩,٤٧٠	"	جابرو	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
٤٠		٢٢° ٥٠,٤٩٩	٥٨° ٢١,٤٧١	"	جابرو	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
٤١		٢٢° ٥٠,٣٦٥	٥٨° ٢٣,٦٠٧	"	جابرو	تساقط صخري وزحف صخري	غير مستقر	قوية
٤٢		٢٢° ٤١,٦٤٥	٥٨° ٣٢,٩١٦	"	جابرو	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	متوسطة
٤٣		٢٢° ٤١,٠٩٦	٥٨° ٣٤,٢٣٦	"	جابرو	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
٤٤	طريق المضيبى	٢٢° ٥٢,٤٤٧	٥٨° ١٣,٢٨٨	رأسي	جابرو	زحف صخري	متوسطة	متوسطة
٤٥		٢٢° ٥٢,٢٠	٥٨° ?١٣.	"	جابرو	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
٤٦		٢٢° ٥١,٦٠٩	٥٨° ١٢,٦٦٥	"	جابرو	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
٤٧		٢٢° ٤٩,٩٤٤	٥٨° ١٠,٢٨٤	"	افيوليت	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
٤٨		٢٢° ٤٩,٢٢٧	٥٨° ?١٠.	"	افيوليت	"	غير مستقر	قوية
٤٩		٢٢° ٤٨,٧٠٤	٥٨° ١٠,١٢٩	٦٥	جابرو	"	غير مستقر	متوسطة

المصدر: دراسات ميدانية من عمل الباحث

جدول (٦) مواقع حركة المواد على السفوح المجاورة لطريق السلطان قابوس وطرق العاصمة

م	الطريق	الموقع		درجة الانحدار	نوع الصخر	العملية السائدة	درجة الاستقرار	درجة الخطورة
		العرض	الطول					
١	طريق	°٢٣ ٣٤,٩٨٦	٥٨ ١١,٧٨٣ °	٦٠	حجر جيري عقدى	تساقط صخري وزحف مفتتات	متوسطة	متوسطة
٢	السلطان	°٢٣ ٣٦,٨٢٨	°٥٨,٢٩,٣٠	رأسي	حجرجيري عقدى وطفل	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
٣	قابوس	°٢٣ ٣٦,٤١٤	°٥٨ ٣٠,٢٢٠	"	حجر جيري عقدى	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
٤		°٣٢ ٣٦,٣٩٠	°٥٨ ٣٠,٧٥٢	"	"	"	غير مستقر	قوية
٥		°٢٣,٣٦,١٥	° ٥٨ ٣١,١٢٣	٤٥	"	"	غير مستقر	قوية
٦		°٢٣ ٣٥,٦٠٩	° ٥٨ ٣١,٥٦٦	٤٥	"	"	غير مستقر	قوية
٧		° ٢٣ ٣٥,٤٣٦	°٥٨ ٣٢,٥٧٤	٦٠	"	"	غير مستقر	قوية
٨		°٢٣ ٣٧,١٨٢	°٥٨ ٣٤,١٠٠	٦٠	"	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
٩		°٢٣ ٣٦,٣٠٣	°٥٨ ٣٥,٧٢١	رأسي	حجر جيري	زحف مفتتات	متوسطة	ضعيفة
١٠		°٢٣ ٣٤,٧٧٥	°٥٨ ٣٦,٢٦٧	"	جابرو	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
١١		°٢٣ ٣٣,٦١٤	°٥٨ ٣٥,٧٨٤	"	حجر جيري	"	غير مستقر	قوية
١٢		°٢٣ ٣٣,٦٢٣	°٥٨ ٣٥,٢٦٥	"	حجر جيري وطفل	"	غير مستقر	قوية
١٣		°٢٣ ٣٣,٤٩٧	°٥٨ ٣٥,٦٠٨	٥٠	حجر جيري	"	غير مستقر	قوية
١٤		°٢٣ ٣٣,٢٢٥	°٥٨ ٣٦,١٠٧	٥٠	"	تساقط صخري وزحف مفتتات	غير مستقر	قوية
١٥		°٢٣ ٣٧,٣٥٤	°٥٨ ٣٤,٤١٨	٥٠	"	زحف صخري	متوسطة	متوسطة
١٦		°٢٣ ٣٧,٣٢٢	°٥٨ ٣٢,٩٥١	رأسي	جابرو	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
١٧		°٢٣ ٣٦,٩٠٨	°٥٨ ٣١,٧٨٩	"	جابرو وطفل جيري	تساقط صخري وزحف صخري	غير مستقر	قوية

المصدر : دراسات ميدانية من عمل الباحث

جدول (٧) مواقع حركة المواد على السفوح المجاورة لطريق نزوى – عبرى

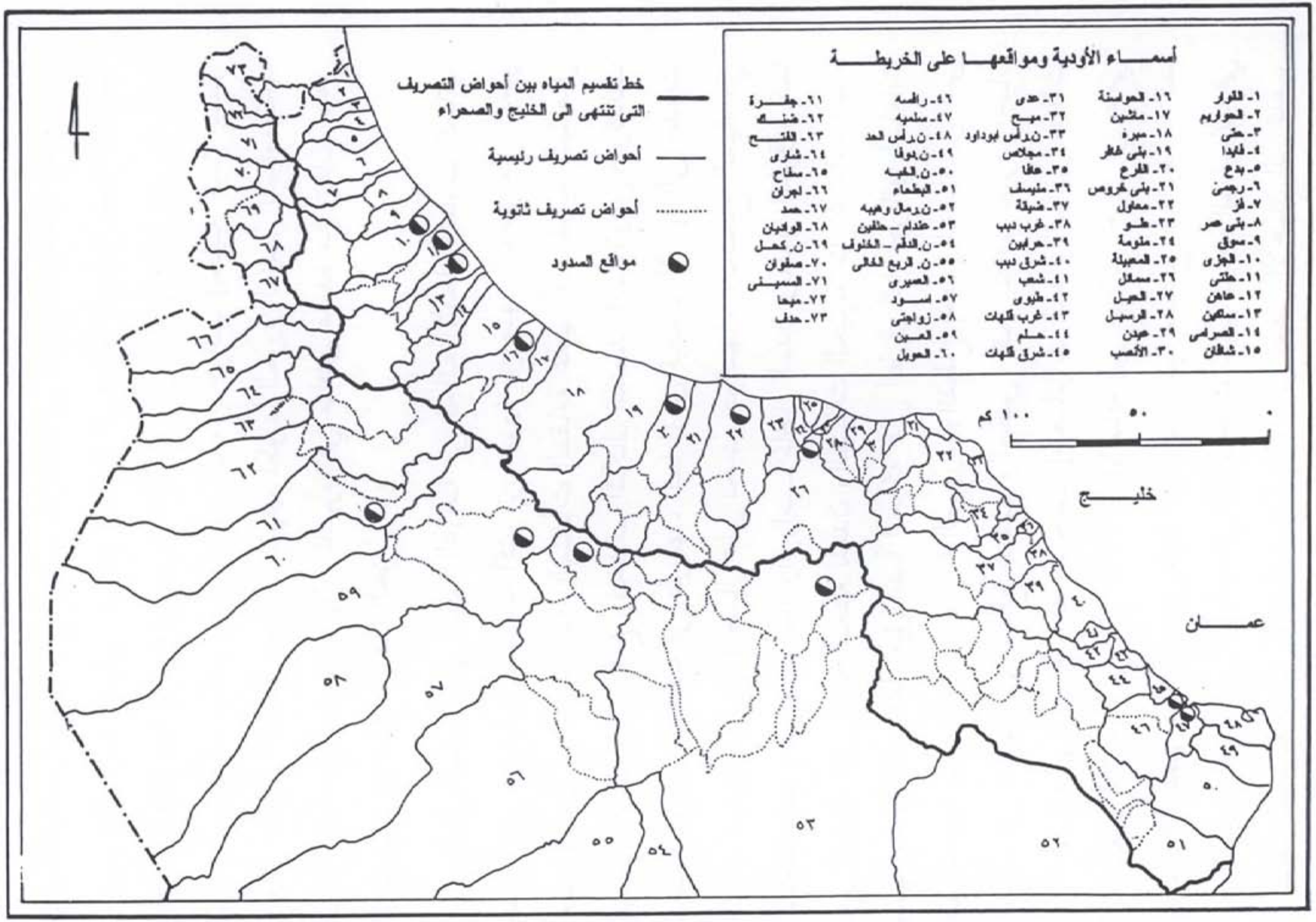
م	الطريق	الموقع: العرض	الموقع: الطول	درجة الانحدار	نوع الصخر	العملية السائدة	درجة الاستقرار	درجة الخطورة
١	من المفرق	٢٣° ٢٤,٨١٣	٥٨° ٥,٨٨٢	رأسي	حجر جيري عقدى	تساقط صخري	متوسطة	متوسطة
٢	إلى نزوى	٢٣° ٢٣,٧٨٨	٥٨° ٤,٣٣٩	٦٠	"	زحف مفتتات	متوسطة	متوسطة
٣	حتى عبرى	٢٣° ٢١,٩١٢	٥٨° ٢,١٩٩	رأسي	هرزبرجت	تساقط صخري	متوسطة	متوسطة
٤		٢٣° ٢١,٠٦٥	٥٨° ١,٩٠١	"	"	"	متوسطة	متوسطة
٥		٢٣° ٢٠,٢٣٢	٥٧° ٥٩,٢٩٠	"	"	"	غير مستقر	قوية
٦		٢٣° ١٧,١١٠	٥٧° ٥٦,٤٢٥	٤٥	حجر جيري عقدى	تساقط صخري وزحف صخري	غير مستقر	قوية
٧		٢٣° ٩,٥٧٧	٥٧° ٥١,٠٦٥	رأسي	هرزبرجت	تساقط صخري	متوسطة	متوسطة
٨		٢٣° ٨,٥٠٢	٥٧° ٥٠,٥٥٧	٤٥	حجر جيري عقدى	زحف صخري	غير مستقر	قوية
٩		٢٢° ٥٨,٩٣٧	٥٧° ٤٧,٢٨٣	رأسي	هرزبرجت	تساقط صخري	غير مستقر	قوية
١٠		٢٢° ٥٥,٣٠٣	٥٧° ٤٠,٧٥٧	٦٠	حجر جيري	زحف مفتتات	متوسطة	متوسطة
١١		٢٢° ٥٧,٣٨٨	٥٧° ٣١,٦٧٦	٦٠	هرزبرجت وديونيت	تساقط صخري	متوسطة	متوسطة
١٢		٢٢° ٥٨,٦٨٤	٥٧° ١٨,٣٣٠	٦٥	"	"	غير مستقر	قوية
١٣		٢٢° ٥٨,١٠٤	٥٧° ٣,٤٠٨	٦٥	حجر جيري وطفل	"	متوسطة	متوسطة
١٤		٢٢° ٥٨,٩٥٦	٥٧° ١,٨٩٢	رأسي	طفل	"	غير مستقر	قوية
١٥		٢٣° ١٢,٥٦٢	٥٦° ٣١,٥٣٢	"	حجر جيري عقدى	"	غير مستقر	قوية

المصدر : دراسات ميدانية من عمل الباحث

ب - الجريان السيلي للأودية ومخاطرة:

يمثل جريان السيول إحدى المشكلات الهامة والأخطار الطبيعية التي تهدد المناطق الجافة وشبه الجافة، وتختلف آثارها من موقع إلى آخر تبعاً لظروف عديدة. كما يمثل جريان السيول في شمال عمان إحدى المشكلات الهامة التي تعيق مسيرة التنمية وتستنزف كثيرا من الجهد والمال من اجل التصدى لها والتقليل من آثارها المدمرة، بالإضافة إلى محاولة الاستفادة من مياهها قبل فقدها في الخليج أو المناطق الصحراوية الداخلية. ويرجع ذلك إلى البيئة الجبلية المتمثلة في جبال الحجر وتكون عدد كبير من أحواض التصريف التي يزيد عددها عن ٧٣ حوض رئيسى بالإضافة إلى الأحواض الثانوية، ويصرف جزء كبير منها تصريفاً خارجياً في خليج عمان، بينما الجزء الآخر يصرف جهة الغرب والجنوب الغربي كتصريف داخلى في الصحراء (شكل ٧). وتتقاطع معظم مجاري هذه الأودية مع الطرق الرئيسية أو الفرعية، أو تمتد الطرق داخل مجاري الأودية خاصة في المناطق الجبلية، ويؤدي ذلك إلى خلق العديد من المشاكل والمخاطر على الطرق ومستخدميها والمناطق العمرانية المقامة عليها.

ولوجود منطقة الدراسة ضمن الأقاليم الجافة يتميز فيها التساقط بتفاوت كمياته Variability، وانحراف تواتر توزيعه Frequency Distribution خلال الشهور والسنوات، كما يتميز التساقط أيضاً بالتقلبات طويلة الأجل (أبو سعده، ١٩٨٣)، وتؤثر هذه الخصائص على جريان الأودية والسيول وكيفية الحماية من أخطارها وتجنبها. كما تلعب جبال عمان دوراً بارزاً في نوع التساقط وكميته، فهي تؤدي إلى تساقط تضاريسي وفير حيث الرياح الشمالية السائدة والتى تعبر خليج عمان وتصطدم بالجبال لتسقط أمطارها



المصدر: معدلة عن وزارة الموارد المائية، ١٩٩٨

شكل (٧) أحواض ونظم تصريف الأودية في شمال سلطنة عمان

طوال الفترة من نوفمبر حتى أبريل، بالإضافة إلى الرياح الموسمية القادمة من الجنوب والجنوب الشرقي. ويتميز التساقط في منطقة الدراسة بصفة الفجائية وعدم الانتظام مما يؤثر على جريان الأودية التي تؤثر بدورها على جوانب الحياة المختلفة، وبقدر ما لهذا الجريان من جوانب إيجابية حيث ينتظر الأهالى سقوط الأمطار وجريان الأودية لكونها المورد الرئيسى للمياه، نجد أن لها أيضاً جوانب سلبية وآثار تدميرية في مناطق عديدة من عمان، وهو ما سوف نركز عليه في هذا الجزء.

وتتمثل المشكلة في منطقة الدراسة في فجائية الأمطار وتفاوت كمياتها حيث ينتج عن جريان الأودية أكثر من صورة من صور التدمير مثل تدمير بعض الطرق أو أجزاء منها والمنشآت المقامة عليها أو بالقرب منها مثل المباني السكنية والمزارع ومختلف أشكال استخدامات الأرض، وكذلك تدمير السيارات وجرفها في طريقها، كما يؤدي فيضان الأودية إلى حدوث جريان موازى للطرق فيعمل على نحت جوانبها، وتجميع المياه في المنخفضات وغمرها بالمياه والرواسب داخل المدن وبجوار الطرق، كما تؤثر السيول على البنية التحتية للمدن والمنشآت الحيوية مثل شبكات المياه وشبكات الطاقة، كما تعيق أيضاً الحركة على الطرق أثناء جريانها لساعات طويلة مما يسبب إرباكا لحركة المرور، وانقطاع بعض المسافرين على الطرق من بلدانهم إلى مواقع عملهم والعكس. كما يتفاقم تأثيرها أحياناً إلى حد إزهاق الأرواح، فقد سجلت إحصائيات الدفاع المدنى حالات وفاة بلغت ٢٧ حالة في عام ١٩٩٧، بالإضافة إلى حالات أخرى في عامي ٩٥، ٩٦ وتتميز هذه الأعوام بشدة أمطارها - كما سيتضح فيما بعد - كما تؤثر السيول أحياناً على السياحة في البلاد حيث تنتشر سياحة المخيمات في المناطق الجبلية داخل الأودية ويؤدي ذلك في بعض الأحيان إلى تدمير

المخيمات وجرف من فيها ويتعدى ذلك إلى الوفيات أيضاً. ويتضح من ذلك تنوع واختلاف الأضرار التي تحدثها الفيضانات كما تتوقف أنواعها على طبيعة الفيضان من حيث شدته وفجائيته، ونتيجة لفجائيتها تتمثل خطورتها في عدم توقع حدوثها بحيث يصعب توقع وقت تدفقها أو مكان حدوثها.

ولإلقاء الضوء على هذه المشكلة والتعرف على أبعادها، يجب أن نناقش عدد من العوامل التي تؤثر بشكل واضح على الجريان السيلي أو الفيضانات السيلية في الأودية من حيث شدته وتوقيته وعدد مرات تكراره وآثاره التدميرية. وتتمثل أهم هذه العوامل في نظام المطر في المنطقة، وهنا سوف نركز بشكل واضح على شدة الأمطار أو كثافة الأمطار Rainfall Intensities أكثر من التركيز على كميتها، كما سنشير إلى تأثير وقت التركز أو الذروة Time of Concentration حيث يبدأ الجريان السطحي للمياه عند هذا الوقت، وعلاقة الجريان السطحي بزمن التساقط حيث يميل الجريان السطحي للمياه إلى الازدياد عندما تزداد فترة سقوط المطر Depth - Duration. وسوف نقتصر هنا على توضيح أعلى تسجيلات لكميات الأمطار والتى حدث فيها فيضانات وكان لها آثار تدميرية واضحة على المراكز العمرانية والطرق، كما تمثل دراسة الخصائص المورفومترية لأحواض الأودية وشبكات تصريفها أهمية كبيرة في إلقاء الضوء على أبعاد مشكلة الجريان السيلي والفيضانات.

وتتعدد أسباب حدوث الفيضانات في العالم، إلا أن أسباب الفيضانات في عمان لا تتعدى سوى الفيضانات الناتجة عن هطول الأمطار الغزيرة الفجائية، ويوجد نوعان من الفيضانات في عمان، الأول هو الفيضانات الفجائية Flash Flood وهو ما يحدث في الأودية صغيرة المساحة، والثاني الفيضانات ذات القمة الواحدة Single Peak Events وهي فيضانات تستمر لمدة أطول قد تصل إلى عدة أيام. ومن المعروف أن الأمطار الغزيرة

وحدها لا تؤدي إلى حدوث الفيضانات، ولكن طول فترة التساقط بالإضافة إلى تركزها هي التي تحدث الفيضانات، كما أن هناك العديد من العوامل التي لها آثار واضحة على حجم الفيضانات مثل ارتفاع معدلات التبخر وظروف قوام التربة بالإضافة إلى طاقة تسرب المياه في التربة والغطاء النباتى وأخيراً فصل المطر، وفي المناطق الجافة وشبه الجافة نجد أن اختفاء الغطاء النباتى وعدم وجود مفتتات الرواسب يؤدي إلى قلة زمن التباطؤ بين بداية الفيضان وقمته Lag Time، كما أن بنية الصخور من شقوق وفواصل تؤدي إلى فقد جزء كبير من مياه التساقط والجريان بالتسرب. ورغم قلة معدل تساقط الأمطار السنوية في عمان حيث لا يزيد عن ١٣٦ مم / سنة، إلا أن طبيعة الأمطار قد تتركز بشكل عواصف رعدية ذات شدة عالية في وقت قصير، وقد تزيد كمية الأمطار عن هذا المتوسط في عاصفة واحدة مما يؤدي لحدوث الفيضانات.

ويتحكم في شدة الفيضان وحجمه عدد من العوامل أوردها كل من Cooke and Doornkamp, 1990; Benson, 1964 وتتمثل هذه العوامل في خصائص أحواض وشبكات التصريف وخصائص مجاري الأودية وخصائص المطر وتنقسم هذه الخصائص إلى خصائص ثابتة مثل مساحة أحواض التصريف وانحداراتها والموقع من خطوط الطول والعرض ومعدلات التشعب ونمط التصريف، وخصائص متغيرة مثل المناخ ونوع التربة وكثافة التصريف وأطوال المجاري. ومن الخصائص الطبيعية للفيضان المسؤولة عن حدوث التدمير على الطرق والمنشآت هي : عمق المياه، والمساحة المغمورة وعدد مرات تكرار غمرها، وسرعة التدفق Velocity of Flow، وفصلية المطر Seasonality، وقمة التدفق Peak Flow، والفترة الزمنية بين بداية الفيضان وقمته أو ما يعرف بزمن التباطؤ Lag Time،

وفترات تكرار الفيضان Recurrence، وحمولة الفيضان من الرواسب Sediment Load، ومعدل التسرب Rate of Discharge، وكمية مياه الفيضان الجارية.

وتتعرض معظم مناطق شمال عمان للفيضانات، إلا أن المناطق المعمورة تكون أكثر تأثراً من المناطق الخالية من العمران، وتتمثل الخطورة في أن معظم المناطق العمرانية مقامة على أو بجوار مراوح فيضية قديمة أو حديثة كونتها الأودية عند مخارجها من الجبال. ومن المناطق التي تتأثر بشكل واضح بالفيضانات سهل الباطنة حيث ترتفع به كثافة السكان ويتركز به الأنشطة المختلفة وتتركز به أيضاً خطط التنمية المستقبلية، ويتكون السهل من مجموعة متداخلة من المراوح الفيضية التي تتكون من رواسب خشنة من الحصى والجلاميد والرواسب الناعمة من الطين والطمى والرمال، وتقطعها مجموعة من مجاري الأودية المجدولة تمثل قنوات التصريف للأودية القادمة من جبال الحجر والتى تمثل مصدر الخطورة على الطرق البرية في السهل (Salam, Abdel)، وقد يعاد تشكيل هذه المجاري أثناء حدوث الفيضان بسبب عدم تماسك بعض هذه الرواسب مما يسبب أضراراً للمناطق القريبة منها، بينما بعض المجاري تؤمن بعض الحماية للمناطق المحيطة بها لوضوح جوانبها وعمقها، وسوف نوضح تدرج الأخطار وتصنيفها على المراوح الفيضية في جزء لاحق.

وفيما يلي سوف نلقي الضوء على العوامل المختلفة التي تتحكم في حدوث الفيضان وصور التدمير ووسائل الحماية منها من خلال مناقشة النقاط التالية :

١ - كثافة الأمطار وتركزها.
٢ - الخصائص المورفومترية والتصريفية للأودية.
٣ - العلاقة بين كثافة الأمطار وتركزها وخصائص الأحواض والجريان السيلي.
٤ - أنواع وأشكال التدمير على الطرق ودرجة خطورتها.
٥ - وسائل الحماية من الفيضانات وتجنب أخطارها.

١ - كثافة الأمطار وتركزها :

تعتبر دراسة كثافة الأمطار أي دراسة كميتها في خلال زمن محدد من أهم العناصر التي تؤدي لحدوث الفيضانات مع الأخذ في الاعتبار العوامل الأخرى التي أشرنا إليها، فكلما كانت كمية الأمطار كبيرة وتسقط في زمن قصير كان ذلك سببا في حدوث الفيضان، وتعتبر دراسة كثافة الأمطار من العناصر الأساسية التي تأخذ في الاعتبار عند تصميم حكايات الطرق من الفيضانات في عمان، كما تستخدم كذلك في دراسة وسائل التصريف داخل المدن وتصميم الكبارى والجسور والسدود والعبارات اسفل الطرق.

ومن دراسة خصائص المطر يتضح لنا أن الأمطار في عمان شأنها شأن المطر في المناطق الجافة، فهي ذات كميات قليلة تتفاوت بين عام وآخر وخلال الفصول، كما أن اختلاف أنواع الأمطار في عمان يؤدي إلى اختلاف كمياتها، كما تختلف أيضاً من عاصفة مطرية إلى أخرى، وتتوزع الأمطار على مناطق متفرقة فهي لا تسقط في جميع المناطق في وقت واحد بينما تتساقط في أجزاء متفرقة وتوصف بأنها أمطار انعزالية Isolated، كما تختلف في كثافتها من منطقة إلى أخرى (دياب، ١٩٩٢). وتختلف كميات

الأمطار تبعاً لفصول السنة ففي الشمال تسقط الأمطار شتوية مع سقوط أمطار غزيرة أيضاً خلال الصيف. وتتركز الأمطار في فترات زمنية قصيرة، ومن العواصف المطرية القوية التي سجلت على مدى سنوات التسجيل في عمان، العاصفة المطرية على جزيرة مصيرة في عام ١٩٧٧ فقد سجلت تساقط مطرى في يوم واحد بلغ ٤٢٤مم، وهي من أكثر العواصف شدة في عمان، يليها ما سجل في مسقط حيث بلغت كمية التساقط في يوم واحد ٢٨٦مم في عام ١٩٩٠، ومن العواصف القوية أيضاً ما سجل في مسقط حيث بلغت كمية التساقط ٨٣، ٧٤ مم في محطتين مختلفتين في ساعة واحدة في نوفمبر من عام ١٩٩٧ (Ministry of Water Resources, 1998).
ويوضح الجدول (٨) أعلى تسجيلات للأمطار خلال ٢٤ ساعة تسجيل للمناطق في شمال عمان، ويتضح أن مسقط تسجل أعلى كميات للأمطار خلال ١٥ دقيقة، تليها منطقة الشرقية والباطنة، إلا أن الأمر يختلف بزيادة عدد ساعات التساقط فأكثر كمية أمطار في ٢٤ ساعة تسقط في منطقة الداخلية تليها الشرقية وشمال الباطنه، ويوضح الجدول أن رغم زيادة كمية الأمطار بزيادة عدد ساعات التسجيل إلا أن كثافة الأمطار تقل في جميع المناطق. وتتراوح كثافة الأمطار بين ٢,١ - ٣,٢ مم / دقيقة في بداية العاصفة ثم تقل لتتراوح بين ٠,٠٧ - ٠,١١ مم / دقيقة في نهاية ٢٤ ساعة تسجيل.

وللتعرف على مدى تأثير شدة الأمطار في منطقة الدراسة بالمقارنة بالتسجيلات العالمية، نجد أن الأمطار في عمان تسجل كمية مطر كبيرة في فترات زمنية قصيرة، هذه الأمطار تمثل نسبة كبيرة بالمقارنة بتسجيلات أعلى كميات أمطار خلال فترات زمنية طويلة، لذلك نجد أن أعلى تسجيل لكمية

الأمطار في عمان خلال ١٥ دقيقة بلغ ٤٨ مم يعادل ٢٤٪ من أعلى كمية أمطار في العالم في نفس الزمن، وتقل هذه النسبة إذا ما استمرت الأمطار في التساقط لفترة زمنية أطول فتبلغ ٢١٪ للساعة الواحدة، ١٤٪ لكل ثلاث ساعات، ٩٪ لكل ١٢ ساعة. ولذلك تصبح كمية الأمطار التي تسقط في منطقة الدراسة مؤثرة في أحواض التصريف الصغيرة وذلك خلال مدة تساقط قصيرة، بينما كمية الأمطار التي تتساقط خلال مدة تساقط طويلة يصبح تأثيرها قليلاً على أحواض التصريف الكبيرة (Ministry of Water Resources, 1998) .

وتختلف شهور السنة من حيث كثافة الأمطار، فقد اتضح من خلال تحليل أعلى خمس تسجيلات لكثافة الأمطار في منطقة الدراسة أن شهور الصيف تتميز بكثافة أمطارها خلال الفترات القصيرة ومن أهمها شهر يوليو، بينما تتميز شهور الشتاء باستمرار تساقط الأمطار لفترات طويلة تتراوح بين ١٢-٢٤ ساعة مثل شهر فبراير. أي أن كميات أمطار شهور الشتاء تكون أكبر ولكنها تسقط على فترات طويلة فتصبح أقل شدة وتأثيرا، بينما تتميز شهور الصيف بكميات تساقط قليلة ولكن مركزة في فترات قصيرة فتصبح أكثر شدة وتأثيرا.

وقد اتضح أن شهر يوليو هو أكثر الشهور استحواذا على أعلى كثافة مطار، حيث يستحوذ على ٣٧,٥٪ من أعلى تسجيلات يليه شهري أبريل ومايو ولكل منهما ١٥٪ وهي شهور الصيف، بينما شهر فبراير يستحوذ على ٢٢,٥٪ من أعلى تسجيلات للأمطار، إلا أن معظمها مسجلة في مدة تساقط تتراوح بين ١٢-٢٤ ساعة. وترتبط هذه التسجيلات في الغالب بفيضانات كبيرة تركت آثارها في مناطق مختلفة من عمان، وسوف يأتي ذكرها في جزء لاحق.

ويوضح الجدول (٩) أعلى معدلات تساقط للأمطار خلال الفترة من١٩٩٦-١٩٩٨ مقارنة بالمتوسط السنوي لتساقط الأمطار في مناطق عمان المختلفة، ويمكن أن نستخلص منها مايلى :

- أن عام ١٩٩٧ تميز بتساقط مطرى غزير مقارنة بعامي ٩٦ و ٩٨، وسجلت أعلى كميات في مناطق الظاهرة والداخلية والباطنة، وكانت جميع التسجيلات أعلى بكثير عن المتوسط السنوي لعمان.
- تميز عام ١٩٩٨ بتساقط أمطار تراوحت بين الأمطار الغزيرة والمتوسطة، وسجلت أعلى معدلات تساقط خلال هذا العام على مستوى عمان في ولاية نزوى وبلغ ٤٧٣مم. وقد تميزت الأمطار في هذا العام بعدم تماثل نمط تساقط الأمطار خلال العاصفة الواحدة في مناطق السلطنة المختلفة وهي من أهم خصائص الأمطار في المناطق الجافة، وكان لأمطار شهور يناير وفبراير تأثيراً كبيراً بأجزاء مختلفة من عمان. كما يوضح الجدول أن جميع المناطق سجلت كميات أعلى من المتوسط السنوي باستثناء منطقة الشرقية التي سجلت معدلات أقل من المتوسط ولم تسجل منطقة الوسطى أي كميات من الأمطار.

جدول (٨) أعلى تسجيلات للأمطار تبعاً للمناطق في عمان

المنطقة	١٥ دقيقة		٣٠ دقيقة		١ ساعة		٢ ساعة		٣ ساعة		٦ساعات		١٢ ساعة		٢٤ ساعة	
	ك	مم/د	ك	مم/د	ك	مم/د	ك	مم/د	ك	مم/د	ك	مم/د	ك	مم/د	ك	مم/د
مسقط	٤٨	٣,٢	٧٤	٢,٥	٨٤	١,٤	٩٠	٠,٧٥	٩٦	٠,٥٣	١٠١	٠,٢٨	١٠٣	٠,١٤	١٠٩	٠,٠٨
جنوب الباطنة	٣٩	٢,٦	٥٠	١,٧	٧٠	١,٢	٧٧	٠,٦٤	٧٩	٠,٤٤	٧٩	٠,٢٢	٨٩	٠,١٢	٩٦	٠,٠٧
شمال الباطنة	٣٢	٢,١	٤٧	١,٦	٥٣	٠,٩	٦٩	٠,٥٨	٦٩	٠,٣٨	٩٠	٠,٢٥	١٠٧	٠,١٥	١٣٥	٠,٠٩
الظاهرة	٣١	٢,١	٥٢	١,٧	٧٢	١,٢	٧٧	٠,٦٤	٧٨	٠,٤٣	٧٨	٠,٢٢	٧٨	٠,١١	١٢٣	٠,٠٩
الداخلية	٣٧	٢,٥	٥٢	١,٧	٧٤	١,٢	٨٨	٠,٧٣	٩٥	٠,٥٣	٩٧	٠,٢٧	١١٩	٠,١٧	١٥٢	٠,١١
الشرقية	٤٣	٢,٩	٦٩	٢,٣	٧٦	١,٣	٨١	٠,٦٨	٩٨	٠,٥٤	١٠٩	٠,٣٠	١٢٩	٠,١٨	١٣٧	٠,١٠

المصدر : .,M.W.R ١٩٩٨ ، شدة الأمطار من حساب الباحث. ك : كمية المطر مم/ دقيقة : كثافة المطر

جدول (٩) أعلى معدلات تساقط للأمطار للفترة من ٩٦-١٩٩٨

المنطقة	١٩٩٦ مم	١٩٩٧ مم	١٩٩٨ مم	المتوسط السنوي مم	الانحراف المعيارى
مسقط	١٤٧	٤٧٤	١٣١	١٢٣	١٩٣,٦
الباطنة	٢٣٧	٦٠٧	٢٥٨	١٢٩	٢٠٧,٨
الظاهرة	٢٥٠	٧٠٢	٣٢٩	١٣٦	٢٤١,٤
الداخلية	٢٦٣	٧٠١	٤٧٣	٢٩٨	٢١٩,١
الشرقية	١٥٥	٥١٢	٢٦٧	٢٨١	١٨٢,٦
الوسطى	٣٣	٤٤	صفر	١٥	٢٢,٩

المصدر : تقرير شبكة مراقبة الموارد المائية، ١٩٩٩

٢ - الخصائص المورفومترية والتصريفية للأودية :

أشرنا في البداية أن أحواض التصريف في شمال عمان تزيد في عددها عن ٧٣ حوض يصرف جزء منها تصريفاً خارجياً إلى خليج عمان والجزء الآخر يصرف في الغرب والجنوب الغربي في الصحراء الداخلية حيث تنتشر الكثبان الرملية والسبخات. ويوضح الشكل (٧) وجود اختلافات في الخصائص المورفومترية بين أحواض التصريف في كلا النظامين من حيث مساحات الأحواض وأطوالها وعرضها ومحيطها. وسيتضح ذلك من خلال تحليلنا لهذه الأبعاد، كما سيتناول هذا الجزء تحليل لخصائص تصريف الأودية أيضاً. وسوف نعتمد في دراستنا لهذا الجزء على القياسات من الخرائط والتسجيلات التي تصدرها وزارة الموارد المائية، بالإضافة إلى الدراسات القليلة التي أجريت على بعض الأودية، والقياسات والمشاهدات من قبل الباحث.

- الخصائص المورفومترية :

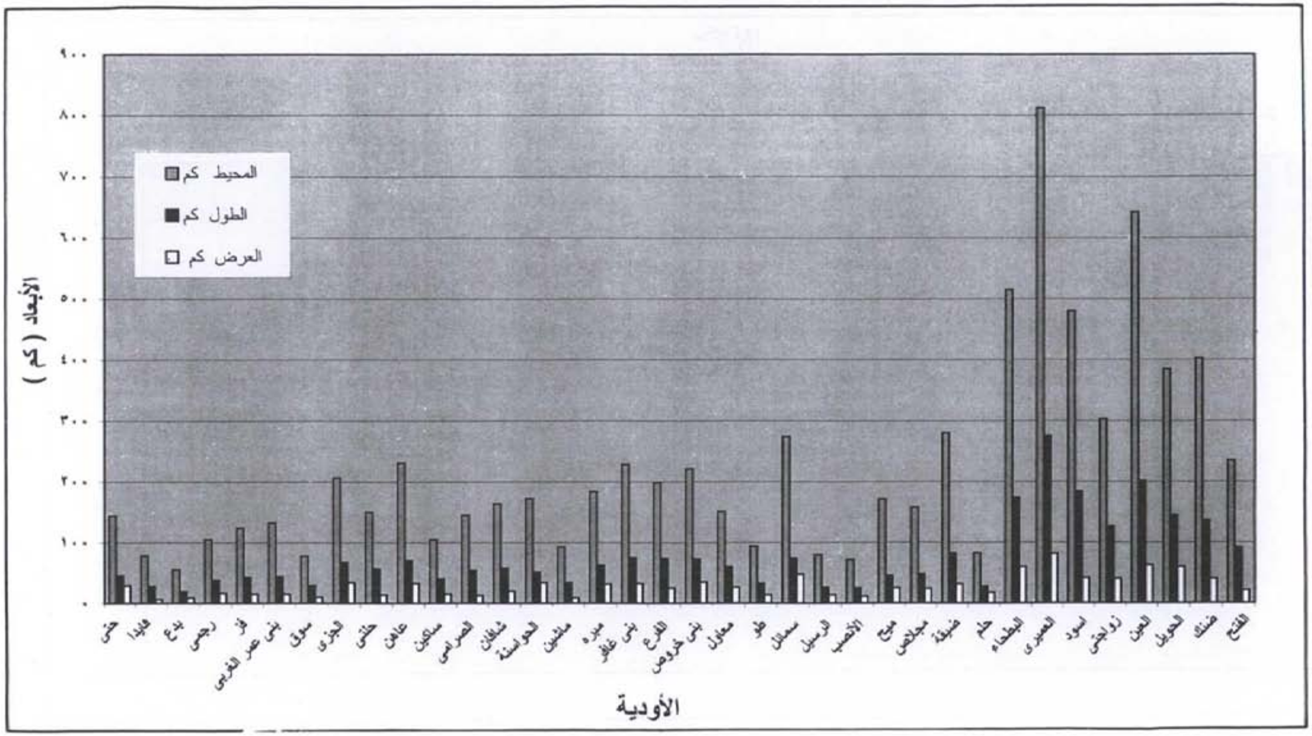
يوضح الجدول (١٠) والشكلين (٨، ٩) قياسات لعدد ٣٦ وادي روعى

في اختيارها أن تمثل نظامى التصريف والأبعاد المختلفة للأودية، ويوضح الجدول قياسات كل من مساحة الأحواض وأطوالها وعرضها ومحيطها، وقد تم قياس هذه الأبعاد من الخرائط الطبوغرافية للسلطنة، بالإضافة إلى حساب كل من معامل الاستدارة والاستطالة والاندماج لهذه الأحواض، ويمكن أن نستخلص من الجدول الحقائق التالية :

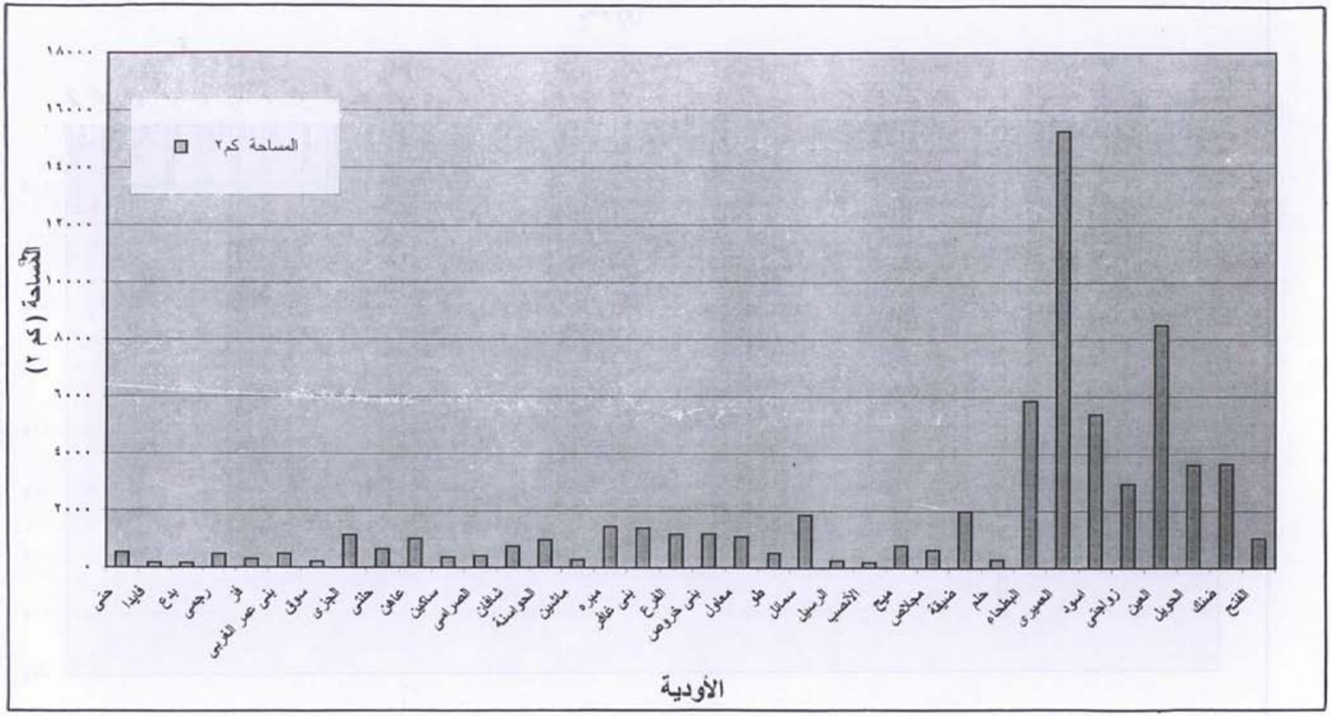
١ - أودية التصريف الخارجى التي تصرف مياهها إلى خليج عمان تتميز بكثرة أعدادها وقلة أطوالها وشدة انحدارها وذات مساحات قليلة مقارنة بأودية التصريف الداخلى التي تنتهي إلى الصحراء.

٢ - تتراوح مساحات أحواض الأودية بين ١٥٣ - ١٥٢٦٥ كم٢، ويبلغ المتوسط العام لمساحات الأحواض حوالى ١٨٦٠ كم٢، ويمكن تقسيم الأودية تبعاً للمساحة إلى أربعة فئات رئيسية وهي :

- أحواض ذات مساحات صغيرة تتراوح بين ١٥٠ - ٥٠٠ كم٢ مثل أودية فايدا وبدع ورجمى وفز وبنى عمر الغربي وسوق وساكين والصرامى وماشين والأنصب وحلم، وجميعها ذات تصريف خارجى.
- أحواض ذات مساحات متوسطة تتراوح بين ٥٠٠ - ١٠٠٠ كم٢ مثل أودية شافان والحواسنة وطو وميح ومجلاص.
- أحواض ذات مساحات كبيرة تتراوح بين ١٠٠٠ - ١٥٠٠ كم٢ مثل أحواض وادي الجزى وعاهن ومبره وبنى غافر والفرع وبنى خروص والمعاول والفتح.
- أحواض ذات مساحات كبيرة جداً تزيد فيها المساحة عن ١٥٠٠كم٢ مثل أودية العميري وسمائل وضيقه وأسود وزواجتى والعين والحويل وضنك، وجميعها ذات تصريف داخلى فيما عدا سمائل وضيقه.



شكل (٨) الخصائص المورفومترية لأحواض تصريف الأودية في شمال عمان



شكل (٩) مساحة أحواض تصريف الأودية في شمال عمان

٣ - تتراوح محيطات الأحواض بين ٥٥كم (وادي بدع) إلى ٨١٢كم (وادي العميري)، بمتوسط عام حوالى ٢٢٠ كم، وانحراف معياري قدره ١٦٨,٧ كم. كما تتراوح أطوال الأحواض بين ١٨,٨ كم (وادي بدع) إلى ٢٧٥ كم (وادي العميري)، بمتوسط قدره ٧٥,٣ كم، وانحراف معيارى ٥٧,٧ كم. كما يتراوح عرض الأودية بين ٦,٣ كم (وادي فايدا) وبين ٨١,٣ كم (وادي العميري)، بمتوسط قدره ٢٨,١ كم وانحراف معيارى ١٧,٤ كم.

٤ - مما سبق يتضح أن أحواض الأودية ذات التصريف الخارجي تتميز بمساحات صغيرة ومتوسطة باستثناء أودية ضيقه وسمائل والبطحاء، كما تتميز أطوالها أيضاً بأنها صغيرة ومتوسطة كما هو الحال بالنسبة لمحيطاتها. بينما تتميز الأودية ذات التصريف الداخلي بمساحات وأطوال كبيرة، ويعتبر وادي العميري أكبر الأودية على الإطلاق.

٥ - يتراوح معدل الاستطالة Elongation Ratio بين ٠,٤ - ٠,٨ بمتوسط قدره ٠,٥٦ وانحراف معياري ٠,٠٩. كما تتراوح قيم معدل الاستدارة Circulation Ratio بين ٠,٢ - ٠,٧ بمتوسط قدره ٠,٣٦ وانحراف معياري ٠,١١. ويتضح من دراسة كل من معدلات الاستطالة والاستدارة أن بعضها يميل بشكل واضح إلى الاستطالة حيث يقل معدل استطالتها وكذلك يقل معدل استدارتها كما في أودية الفتح وأسود والصرامي، بينما يزداد معدل الاستطالة وكذلك معدل الاستدارة ويدل ذلك على اقتراب شكل هذه الأودية من الشكل الدائري مثل أودية طو والمعاول وبدع والرسيل والأنصب ورجمى ومبره وحلم. ويتراوح معدل الاندماج Compactness Coefficient بين ١,٢ - ٢,١ بمتوسط قدره ١,٧ وانحراف معياري

٠,٢٣ ، ويدل ارتفاع قيم المعامل على أن أحواض التصريف لم تقطع شوطا كبيرا في مراحل تطورها والعكس.

يتضح مما سبق أن أحواض الأودية في منطقة الدراسة تتراوح بين الصغيرة والمتوسطة، وتشير دراسات عديدة إلى أن الفيضانات الفجائية التي تحدث من الأحواض صغيرة المساحة تكون أكثر شدة وتكتسح كل شئ أمامها، كما أنها تحدث بسرعة وتنتهي بسرعة، وقد أوضحت دراسة دياب ١٩٩٥ أن وادي الخوض أحد الأحواض التي تتميز بهذه الصفات حيث يزداد تركز المطر شتاءاً على جبل نخل الذي يتميز بشدة انحداره وكثرة السطوح الصخرية العارية، مما يؤدي إلى زيادة كميات المياه والرواسب التي تنجرف إلى المجرى الرئيسى للوادي.

وفى دراسة لبعض الأودية في شمال عمان (سالم، ١٩٩٦) وجد أن خصائص شبكات التصريف لأودية شمال عمان تعتبر منخفضة مقارنة بالأرقام العالمية، وقد يرجع ذلك إلى صلابة صخور الأفيوليت التي تكون معظم جبال الحجر التي تنبع منها الأودية. ويبلغ متوسط أطوال المجاري ١,١٥ كم، كما ينتمى حوالى ٩٥٪ من أعداد المجاري إلى الرتبة الأولى والثانية فقط، وقد يشير ذلك إلى المرحلة الجيمورفولوجية التي تمر بها أحواض التصريف في المنطقة، بالإضافة إلى ظروف الجفاف التي تسود فيها ووضوح أثر التجوية في تكوين المفتتات بكميات كبيرة التي تجرفها السيول أثناء جريان الأودية مما يؤدي إلى تكون المجاري في المرتبة الأولى خاصة.

جدول (١٠) الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف في شمال عمان

الوادي	المساحة كم٢	المحيط كم	الطول كم	العرض كم	معدل الاستدارة	معدل الاستطالة	معامل الاندماج
حتى	٥٣١,٣	١٤٣,٨	٤٥	٢٨,٨	٠,٣	٠,٦	١,٨
فايدا	١٦٥,٦	٧٨,١	٢٧,٥	٦,٣	٠,٣	٠,٥	١,٧
بدع	١٥٣,١	٥٥	١٨,٨	٨,٨	٠,٦	٠,٧	١,٣
رجمى	٤٧١,٩	١٠٥	٣٧,٥	١٦,٣	٠,٥	٠,٦	١,٤
فز	٢٩٨,٤	١٢٣,٨	٤٢,٥	١٥	٠,٢	٠,٥	٢
بنى عمر الغربي	٤٨٢,٨	١٣٢,٥	٤٣,٨	١٥	٠,٣	٠,٦	١,٧
سوق	٢١٤,١	٧٧,٥	٢٨,٨	١٠	٠,٤	٠,٦	١,٥
الجزى	١١٤٨,٤	٢٠٦,٣	٦٧,٥	٣٣,٨	٠,٣	٠,٦	١,٧
حلتى	٦٤٢,٢	١٥٠	٥٦,٣	١٣,٨	٠,٤	٠,٥	١,٧
عاهن	١٠١٤,١	٢٣١,٣	٧٠	٣٢,٥	٠,٢	٠,٥	٢,١
ساكين	٣٦٧,٢	١٠٥	٤٠	١٥	٠,٤	٠,٥	١,٥
الصرامى	٤٠٩,٤	١٤٥	٥٣,٨	١٢,٥	٠,٢	٠,٤	٢
شافان	٧٥٣,١	١٦٣,٨	٥٧,٥	٢٠	٠,٣	٠,٥	١,٧
الحواسنة	٩٧٩,٧	١٧٢,٥	٥١,٣	٣٣,٨	٠,٤	٠,٧	١,٦
ماشين	٢٧٦,٦	٩٢,٥	٣٣,٨	٨,٨	٠,٤	٠,٥	١,٦
مبره	١٤٥٣,١	١٨٣,٨	٦٢,٥	٣١,٣	٠,٥	٠,٧	١,٤
بنى غافر	١٣٩٠,٦	٢٢٨,٨	٧٥	٣٢,٥	٠,٣	٠,٦	١,٧
الفرع	١١٨٤,٤	١٩٨,٨	٧٣,٨	٢٥	٠,٤	٠,٥	١,٦
بنى خروص	١١٨٧,٥	٢٢١,٣	٧٢,٥	٣٥	٠,٣	٠,٥	١,٨
معاول	١٠٩٦,٩	١٥١,٣	٦٠	٢٦,٣	٠,٦	٠,٦	١,٣
طو	٥١٨,٨	٩٣,٨	٣٢,٥	١٣,٨	٠,٧	٠,٨	١,٢
سمائل	١٨٥٩,٤	٢٧٣,٨	٧٣,٨	٤٧,٥	٠,٣	٠,٧	١,٨
الرسيل	٢٥٧,٨	٨٠	٢٦,٣	١٣,٨	٠,٥	٠,٧	١,٤
الأنصب	١٩٠,٦	٧١,٣	٢٥	١١,٣	٠,٥	٠,٦	١,٥
ميح	٧٧٩,٧	١٧١,٣	٤٥	٢٥	٠,٣	٠,٧	١,٧
مجلاص	٦٢٨,١	١٥٧,٥	٤٧,٥	٢٣,٨	٠,٣	٠,٦	١,٨

(تابع) جدول (١٠) الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف في شمال عمان

الوادي	المساحة كم٢	المحيط كم	الطول كم	العرض كم	معدل الاستدارة	معدل الاستطالة	معامل الاندماج
ضيقة	١٩٨٥,٩	٢٨٠	٨٢,٥	٣١,٣	٠,٣	٠,٦	١,٨
حلم	٢٩٣,٨	٨٢,٥	٢٧,٥	١٧,٥	٠,٥	٠,٧	١,٤
البطحاء	٥٨٥١,٦	٥١٥	١٧٣,٨	٦٠	٠,٣	٠,٥	١,٩
العميري	١٥٢٦٥,٣	٨١٢,٥	٢٧٥	٨١,٣	٠,٣	٠,٥	١,٩
اسود	٥٣٨١,٣	٤٨٠	١٨٣,٨	٤١,٣	٠,٣	٠,٤	١,٨
زواجتى	٢٩٤٥,٣	٣٠٢,٥	١٢٦,٣	٤٠	٠,٤	٠,٥	١,٦
العين	٨٤٩٣,٨	٦٤٢,٥	٢٠١,٣	٦٢,٥	٠,٣	٠,٥	٢
الحويل	٣٦٠٧,٨	٣٨٥	١٤٥	٦٠	٠,٣	٠,٥	١,٨
ضنك	٣٦٤٨,٤	٤٠٢,٥	١٣٦,٣	٤٠	٠,٣	٠,٥	١,٩
الفتح	١٠٣٤,٤	٢٣٥	٩١,٣	٢١,٣	٠,٢	٠,٤	٢,١
المتوسط الحسابى	١٨٦٠,١	٢٢٠,٩	٧٥,٣	٢٨,١	٠,٣٦	٠,٥٧	١,٧
الانحراف المعيارى	٢٨٩٨,٣	١٦٨,٨	٥٧,٧	١٧,٥	٠,١٢	٠,٠٩	٠,٢٣
معامل الاختلاف	١٥٥,٨	٧٦,٤	٧٦,٧	٦٢,١	٣٢,٩	١٧,٤	١٣,٥

المصدر : قياسات وحسابات بواسطة الباحث

- خصائص التصريف :

يوضح الجدول (١١) والشكل (١٠) خصائص تصريف الأودية في شمال عمان، ويلاحظ من الجدول اختلاف أسماء الأودية عن الجدول السابق ويرجع ذلك إلى أن محطات القياس تسجل قياسات التصريف لبعض الأحواض الثانوية التي تمثل جزءاً من الأحواض في الجدول السابق، ويمكن إيجاز أهم هذه الخصائص فيما يلي :

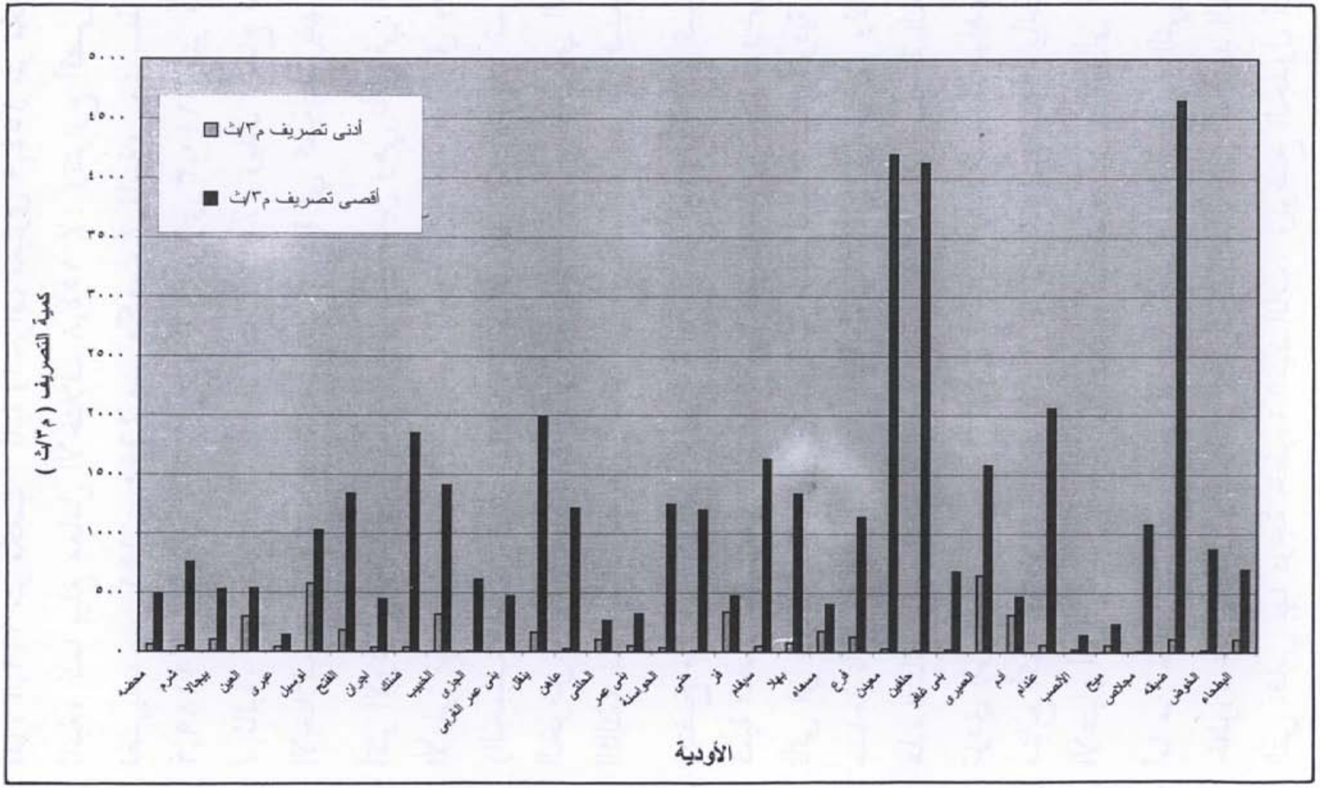
١ - تتفاوت أودية شمال عمان فيما بينها من حيث كميات التصريف، فيتراوح أدنى تصريف بين ٢,٢٠ - ٦٤٧ متر مكعب / ثانية بمتوسط

قدره ١٢٢,٢ متر مكعب / ثانية وانحراف معيارى ١٥٤,٩ متر مكعب / ثانية، كما يبلغ معامل الاختلاف ١٥٤,٨ ٪. وتتراوح أقصى كمية تصريف بين ١٤١ - ٤٦٥٠ متر مكعب / ثانية، بمتوسط قدره ١١٨٩,٦ متر مكعب / ثانية وانحراف معيارى ١١١٠,٣ متر مكعب / ثانية، كما يبلغ معامل الاختلاف ٩٣,٣ ٪. ويدل ارتفاع معامل الاختلاف على تعاظم الاختلافات بين الأودية في كمية تصريفها.

٢ - أكثر الأودية تصريفا أودية ضيقه ومعيدن وحلفين وهي تأتى في المرتبة الأولى من حيث كمية التصريف، تليها أودية عندام وينقل وضنك والخبيب والفتح وسيفام والعميري في المرتبة الثانية، ثم أودية الخوض والبطحاء وبنى غافر والجزى ومحضه والعين في المرتبة الثالثة، ثم بقية الأودية في المرتبة الرابعة بكميات تصريف ضئيلة.

ويتضح من هذا التوزيع أن مساحة الأحواض ليس لها تأثير كبير على كمية التصريف، فبعض الأودية الكبيرة مثل الخوض والجزى وبنى غافر تأتى في المرتبة الثالثة من حيث كمية التصريف، بينما الأودية الأقل مساحة تأتى في المرتبة الأولى مثل أودية حلفين ومعيدن، ولا تتفق هذه النتائج مع حقيقة أن زيادة كمية التساقط وكبر مساحة الحوض تؤدي إلى زيادة التصريف، إلا أن هذه الأودية تستمد مياهها من منابع أكثر غزارة من الأحواض الأخرى، كما يجب أن يأخذ في الاعتبار أن الأمطار تختلف في مواقعها وغزارتها من وقت إلى آخر.

٣ - أما من حيث عمق مياه الجريان فهو أحد أهم الخصائص التي تمثل خطورة على الطرق والمناطق العمرانية، إضافة إلى أنه أحد المعايير التي تقاس بها درجة خطورة الفيضانات. ويوضح الجدول أن أقل عمق لمياه تصريف الأودية يتراوح بين ٠,٢١ - ١,٨٦ متر بمتوسط



شكل (١٠) أدنى وأقصى تصريف لأودية شمال عمان

قدره ٠,٧٧ متر وانحراف معيارى ٠,٤٧ متر. كما تراوحت قيم أكبر عمق لمياه التصريف بين ٠,٨٨ - ٦,١٩ متر بمتوسط قدره ٢,٣٦ متر وانحراف معيارى ١,١٨ متر. وقد سجلت أكبر قيمة في أودية حلفين وضيقة والفتح والخبيب وعاهن، بينما أقل قيمة سجلت في وادي الجزى وهي ٠,٢١ متر. كما يتضح أيضاً أن عمق مياه التصريف ليس لها علاقة بمساحة الحوض حيث أن وادي الجزى من الأودية الكبيرة وسجل به أقل عمق للتصريف، بينما بعض الأودية مثل حلفين سجل عمقاً بلغ أكثر من ٦ متر، ويتوقف عمق التصريف على شكل وأبعاد المجرى وانحداره بالإضافة إلى كمية التصريف.

٤ - تمثل سرعة الجريان المعيار الثاني الذي يأخذ في الاعتبار لتحديد المناطق تبعاً لخطورة الفيضانات، وقد تراوحت أدنى سرعة للجريان بين ٠,٦ - ٢,٩٤ متر / ثانية بمتوسط قدره ١,٤٢ متر / ثانية وانحراف معيارى ٠,٥٦ متر / ثانية. بينما تراوحت أقصى سرعة بين ١,٥ - ٩,٧٢ متر / ثانية، بمتوسط قدره ٣,٣١ متر / ثانية وانحراف معيارى ١,٥ متر / ثانية.

وتشير دراسات سابقة إلى اختلاف الأودية في تكرار عدد مرات الجريان، فقد بلغ متوسط جريان الوادي ١,١ مرة / سنة، وتمثل أودية ضيقه والخوض وبنى غافر النسبة الأكبر من عدد مرات الجريان حوالى ٥٠٪ تليها أودية مسفاه ومعيدن وحلفين (سالم، ١٩٩٦).

٣ - العلاقة بين كثافة الأمطار وتركزها وخصائص الأحواض والجريان السيلي:

تعتبر خصائص الأمطار خاصة كثافتها وطول فترة تساقطها أهم الخصائص

المؤثرة على الجريان السيلي مع الأخذ في الاعتبار العوامل الأخرى التي أشرنا إليها من قبل مثل خصائص الأحواض وقوام التربة ونسبة التبخر والتسرب. وقد خلصت دراسة توضح العلاقة بين التساقط والجريان السطحي في وادي الخوض أحد أودية شمال عمان، أن كمية الأمطار الساقطة وطول فترة التساقط يلعبان دوراً رئيسياً في تحديد حجم مياه الجريان، بالإضافة إلى نسبة الفاقد بالتسرب، أما خصائص الحوض الجيمورفولوجية فهي تلعب دوراً آخر في التفاوت في حجم الجريان ومعدلات التسرب على طول أجزاء الوادي العليا والوسطى والدنيا (دياب، ١٩٩٢، ص٦٧-٦٩). وقد أكدت معظم الدراسات العلاقة بين كثافة الأمطار وخصائص أحواض التصريف من جهة وبين الجريان من جهة أخرى مثل :

، ١٩٨٩ ، سالم، ، . Graf, 1988; Cooke et all., 1985; Benson, 1964
سلامه، ١٩٨٥ .

وتشير هذه الدراسات إلى أن الجريان السطحي للمياه يحدث عند وقت الذروة، ويبدأ الجريان في الغالب عندما تكون كثافة الأمطار ١مم / دقيقة وكمية الأمطار تبلغ ١٠ مم في العاصفة الواحدة. ومن الجدول رقم (٨) يوضح أن كثافة الأمطار تراوحت بين ٢,١ - ٣,٢ مم / دقيقة مع كميات للأمطار تراوحت بين ٣١ - ٤٨ مم في مناطق عمان المختلفة. وقد سجلت في محطة دارسيت في العاصمة مسقط في مايو ١٩٨١ كثافة بلغت ٣,٢ مم / دقيقة بكمية ٤٨ مم، كما بلغت كمية الأمطار ٨٤ مم خلال ساعة واحدة بكثافة قدرها ١,٤ مم / دقيقة في نفس المحطة وفي نفس اليوم، وتوضح هذه الأرقام قدرة الأودية على الجريان السطحي بقيم أعلى من المعدلات المتعارف عليها مما يوضح مدى الخطورة التي يمكن أن تنجم عن هذا الجريان.

ومن الخصائص التي تتحكم أيضاً في العلاقة بين الأمطار والجريان خصائص العاصفة المطرية حيث أن بعض العواصف قد لا تغطي حوض واحد بكامله لصغرها فتغطي جزء من هذا الحوض أو تمتد لتغطي أجزاء أخرى من أحواض مجاورة وبذلك تتوزع أمطارها على أكثر من حوض، بالإضافة إلى تحرك هذه العواصف مما يؤثر بذلك على بدأ عملية الجريان، ويؤثر بذلك على استمرار الجريان فلا يصل إلى المجاري الدنيا من الأودية، فاستمرار العاصفة من الخصائص الهامة التي تؤدي إلى الجريان، وقد يقتصر الجريان فقط على الأجزاء العليا من المجاري، فالعواصف القصيرة قد تؤدي إلى جريان لفترة قصيرة وتؤثر في مناطق محدودة، كما يؤدي التبخر والتسرب إلى تأخير عمليات الجريان أو التعجيل بها، فكلما زادت درجات الحرارة وارتفعت معدلات التبخر وكذلك ارتفعت نسبة التسرب أدى ذلك إلى زيادة الفاقد مما يؤدي إلى تأخير بداية الجريان والعكس.

وقد أوضح كل من Clymph and Holton عام ١٩٦٩ العلاقة بين مساحة حوض التصريف والمتوسط السنوي للجريان السطحي للأودية حيث يقل المتوسط السنوي للجريان السطحي كلما زادت مساحة حوض التصريف (Graf, 1988, p. 82) رغم أن العلاقة الطبيعية تبدو علاقة طردية بينهم إلا أن الفاقد من التسرب والتبخر يؤدي إلى هذه العلاقة، كما أن حجم التصريف المائى يتأثر باختلاف مدة التساقط ومقدار انحدار السفوح وسرعة جريان المياه عليها، ويمكن حساب قيمة تصريف الذروة بالمتر المكعب كل ثانية (Qpk) من خلال المعادلة التي أوردها كل من Dunne and Leopold عام ١٩٧٧ وتعتمد صيغة المعادلة على مساحة حوض التصريف بالكيلومتر المربع (A)، وكمية التساقط بالمليمتر كل ساعة (I):

$$Qpk = 0.278\ CIA$$

حيث (C) ثابت يتوقف على نوع التربة والغطاء النباتى واستخدام الأرض (Graf, 1988, p. 79)، ويوضح الجدول (١٢) حسابات قيمة تصريف الذروة بالمتر المكعب لكل ثانية في مجموعة أحواض التصريف للأودية في شمال عمان، ويوضح الجدول مساحات أحواض التصريف التي تم على أساسها حسابات الذروة تبعاً لمحطات التسجيل في بعض الأودية أو روافدها، فبعض المساحات لأحواض ثانوية كما سبق وذكرنا. ويؤكد الجدول العلاقة السابقة التي أشرنا إليها حيث يبلغ قيمة التصريف ٢٦١ متر مكعب/ ثانية في وادي الخوض الذي تبلغ مساحته ١٦٥٧ كم٢، بينما تبلغ قيمة التصريف ٣٧٣ متر مكعب / ثانية في وادي فار الذي تبلغ مساحته ٦٨٧ كم٢، كما تبلغ أيضاً قيمة التصريف ١٢٦ متر مكعب / ثانية في وادي العين وتبلغ مساحته ٢٧١٩ كم٢.

وكما لمساحة أحواض التصريف من تأثير على الجريان المائى في الأودية نجد أن شكل الحوض أيضاً له تأثير واضح، ومن تحليلنا للخصائص المورفومترية لأحواض التصريف اتضح أن الأودية في شمال عمان منها ما يميل إلى الاستطالة مثل أودية الفتح وأسود والصرامى، ومنها ما يميل إلى الشكل الدائرى مثل أودية الطو والمعاول وبدع والرسيل والأنصب. وتشير معظم الدراسات إلى أن الأودية الدائرية الشكل قد ينتج عنها فيضان كبير نظراً لتركز الروافد في مركز الحوض فتلقى فيه بمياه التصريف مما يؤدي إلى اندفاعها خلال المجرى في وقت واحد، بينما الأودية التي يتسم شكلها بالاستطالة فهي في الغالب ينتج عنها فيضانات ضعيفة نظراً لتوالي مرور مياه التصريف خلال المجرى على فترات متباعدة.

جدول (١١) خصائص تصريف الأودية في شمال عمان

الوادي	أدنى تصريف م٣/ ث	أقصى تصريف م٣/ ث	أقل عمق (م)	أكبر عمق (م)	أدنى سرعة م/ ث	أقصى سرعة م/ ث	أدنى عرض (م)	أقصى عرض (م)
محضه	٦٣	٤٩٢	٠,٣٥	١,٠٤	٠,٩٥	٢,١٣	١٩١	٢٢٢
شرم	٤٧,٤	٧٥٨	٠,٤٩	١,٦٤	١,٥	٣,٣٨	٥٧	١٣٦
بيجالا	١٠٢	٥٢٦	١,٢٣	١,٤١	١,٥٧	٢,٢	٥٢,٧	١٨٢
العين	٢٩٨	٥٣٤	٠,٦١	٠,٨٨	١,٢٤	١,٥	٣٩٨	٤٠٥
عبرى	٤١	١٤١	٠,٧٥	١,٣٧	١,٢٤	٢,٤٩	٣٤	٤١,٣
لوسيل	٥٧٧	١٠٣٠	١,١٥	١,٦	١,٥٨	٢,٠٢	٣١٥	٣١٩
الفتح	١٨١	١٣٤٠	١,٢٩	٤,٥٧	٢	٤,٢٨	٦٧,٨	٩٧,٧
اجران	٣٧	٤٤٥	٠,٦٢	١,٨٢	١,٥	٣,٤٩	٣٩,٧	٧٠
ضنك	٣٨	١٨٥٠	٠,٤١	٢,٦٩	٠,٨٢	٢,٨١	١١٢	٢٤٥
الخبيب	٣١٥	١٤١٠	١,٦٤	٣,٨٢	٢,٦٢	٤,٢١	٧٣,٣	٨٧,٧
الجزى	٥,٤	٦١٢	٠,٢١	١,٧٦	١,٣٨	٣,١٤	١٧,٣	١١١
بني عمر الغربي	٢,٢	٤٧١	٠,٢٨	١,٧٩	٠,٥٥	٣,٢١	١٤	٨٣,٧
ينقل	١٦٤	١٩٩٠	٠,٩٩	٢,٧٤	٢	٣,٧٩	٨٢	١٩٢
عاهن	٢٥	١٢١٧	٠,٦٢	٣,٥٨	١,٥١	٣,٩٥	٢٧	٨٦,٣
الحلتي	١٠٣	٢٦٤	٠,٥٧	١,٣٤	٢,٣٩	٢,٧٥	٦٦	٧١,٧
بني عمر	٥٢	٣٢٠	٠,٤٧	١,٣٩	١,٥٢	٢,٩٤	٧٣,٣	٨٤
الحواسنة	٣٥	١٢٥٠	٠,٤٦	٢,٥٤	١,٢٥	٤,٤٣	٦١	١١١
حتى	٧,٧	١٢٠٠	٠,٣٢	٢,٢	٠,٨٧	٣,٧	٢٨	١٤٧
فز	٣٣٨	٤٧٥	١,٨٦	٢,٢٢	٢,٩٤	٣,١٩	٥١,٧	٨٠,٣
سيفام	٤٩	١٦٣٠	٠,٤٥	٢,٤٨	١,١٥	٢,٧٧	٩٦	٢٣٧
بهلا	٧٧	١٣٤٠	٠,٨٨	٢,٥٣	١,٣٥	٢,٨٥	٦٤,٧	١٨٥
مسفاه	١٧٦	٤٠٤	١,٧٤	١,٨٤	٢,٠٩	٢,٥٧	٤٨,٣	٨٥,٧
فرع	١٢٩	١١٤٠	٠,٥٩	١,٨٨	١,٤٧	٣,٥٢	١٥٠	١٧٢
معيدن	٢٩	٤٢٠٠	٠,٥١	٣,٦	١,٠٨	٧,٢٥	٥٢	١٦١
حلفين	١٣,٢	٤١٣٠	٠,٤٤	٦,١٩	٠,٠٠٦	٣,٦٧	٥,٢١	١٠٤

(تابع) جدول (١١) خصائص تصريف الأودية في شمال عمان

الوادي	أدنى تصريف م٣/ث	أقصى تصريف م٣/ث	أقل عمق (م)	أكبر عمق (م)	أدنى سرعة م/ث	أقصى سرعة م/ث	أدنى عرض (م)	أقصى عرض (م)
بني غافر	٢٢	٦٨٠	٠,٣٨	١,٦٧	١,١٢	٣,٤	٥٠,٣	١٢٠
العميري	٦٤٧	١٥٨٠	١,٨	٢,٧٦	١,٩٦	٢,٣٨	١٨٣	٢٤١
آدم	٣١٤	٤٦٧	١,٥٩	٢,٠٨	١,٧١	١,٨٨	١١٦	١٩
عندام	٦٣	٢٠٦٠	٠,٦٦	٢,٤٦	١,٣١	٣,٠٢	٧٣,٣	٢٧٨
الأنصب	٢٤	١٤٤	١,٠٣	١,٣٥	١,١٨	٢,٢٥	٣٩,٧	٤٧,٣
ميح	٥٨	٢٣٦	٠,٩١	١,٧٥	١,٥٨	٢,٩٢	٤٠,٣	٤٧,٧
مجلاص	٨	١٠٨٠	٠,٣٧	٢,٣٩	١,١	٣,٤٥	١٩,٧	١٣١
ضيقه	١١٢	٤٦٥٠	٠,٤٩	٥,٣٩	١,٢٩	٩,٧٢	٧٨,٧	١٨٣
الخوض	١٧	٨٧٢	٠,٤٥	٢,٦٧	٠,٨١	٢,٧٥	٤٥	١٦٣
البطحاء	١٠٨	٦٩٧	٠,٥	١,٣٧	١,٠٨	٢,٠٧	٢٠٢	٢٤٦
المتوسط	١٢٢,٢٢٦	١١٨٩,٥٧	٠,٧٧٤٦	٢,٣٦٦	١,٤٢	٣,٣١٧	٨٦,٤٢٩	١٤٨,٤
الانحراف المعيارى	١٥٤,٨٧	١١١٠,٣٥	٠,٤٧٦٥	١,١٨٦٠٥	٠,٥٦٩	١,٥٠٣	٨٣,٥٢٨	٨٦,١٩

المصدر : PAWR Report 85 - 15, 1985

٤ - أنواع وأشكال التدمير على الطرق ودرجة خطورتها :

لقد وضح مما سبق أن نظم تصريف الأودية وخصائصها في شمال عمان من حيث كمياتها وسرعتها واتجاهاتها يمكن أن تؤدي إلى خلق العديد من المشاكل والأضرار بالطرق البرية. وعندما نتفحص الخرائط نجد أنه لا يوجد طريق رئيسى أو فرعى إلا ويتعرض في جزء منه للجريان خلال فترة التساقط. ويمكن ملاحظة ذلك بالمرور على الطرق ومشاهدة الكثافة المرتفعة لمنشآت التصريف المقامة عليها بمختلف أنواعها من جسور وعبارات وخنادق وتكسية على جوانب الطرق، وسوف نشير فيما بعد إليها بشئ من التفصيل.

ومن خلال المشاهدات والدراسات الميدانية وفحص الخرائط الطبوغرافية أمكن التعرف على ثلاثة اتجاهات رئيسية لحركة الجريان السيلي على الطرق وهي :

أ - **الاتجاه الأول**: وهو الاتجاه السائد وهو عمودى أو مائل على الطرق وذلك نتيجة لاندفاع المياه عبر مجاري الأودية المتجهة إلى الخليج أو المتجهة إلى الصحراء، ومعظم هذه الأودية تقطع الطرق الممتدة بمحاذاة سلسلة الجبال، ويعتبر الطريق الممتد من مطرح حتى خطمة ملاحة من أكثر الطرق تعرضاً لأخطار الجريان السيلي نظراً لامتداده داخل سهل الباطنة الذي تقطعه المجاري المجدولة والتى تظهر بكثافة في السهل. ولكي تصل مياه الجريان إلى الخليج أو الصحراء الداخلية لابد لها أن تعبر الطرق من خلال الجسور والعبارات والخنادق المقامة عليها.

ب - **الاتجاه الثاني**: وهو جريان موازى للطرق، ويحدث على الطرق التي تمتد داخل مجاري الأودية مثل طريق وادي الجزى وطريق الشرقية، بالإضافة إلى الطرق الممهدة داخل مجاري الأودية بأعداد كبيرة. هذه الطرق تسير في بعض الأحيان داخل مجاري الأودية وأحيان أخرى تتقاطع معها خاصة في مناطق ثنيات ومنعطفات الأودية. كما يحدث الجريان الموازى للطرق أيضاً عندما تفيض مياه الجريان وتزداد عن السعة التصميمية للعبارات والخنادق فيتجه الجريان موازياً للطريق متجها إلى عبارة أخرى أقل في المنسوب ليعبر منها الطريق.

ج - **الاتجاه الثالث**: هو حركة مياه الجريان على الطريق مباشرة نتيجة لضيق الأودية في بعض الأجزاء فتستمر المياه فوق الطريق إلى أن يتسع المجرى ويمتد الطريق على أحد جوانبه، ومن أمثلتها الطرق داخل أودية ضيقه وميح وبنى خروص والعق.

ونتيجة لهذه الحركات والاتجاهات المتغايرة يحدث العديد من أشكال التدمير على الطرق وتتفاوت درجة خطورتها على أجزاء الطريق الواحد وعلى المنشآت المقامة بالقرب منه مثل المباني والمزارع وغيرها، وتتمثل أشكال التدمير والمشاكل التي يخلفها الجريان السيلي والفيضانات فيما يلي :

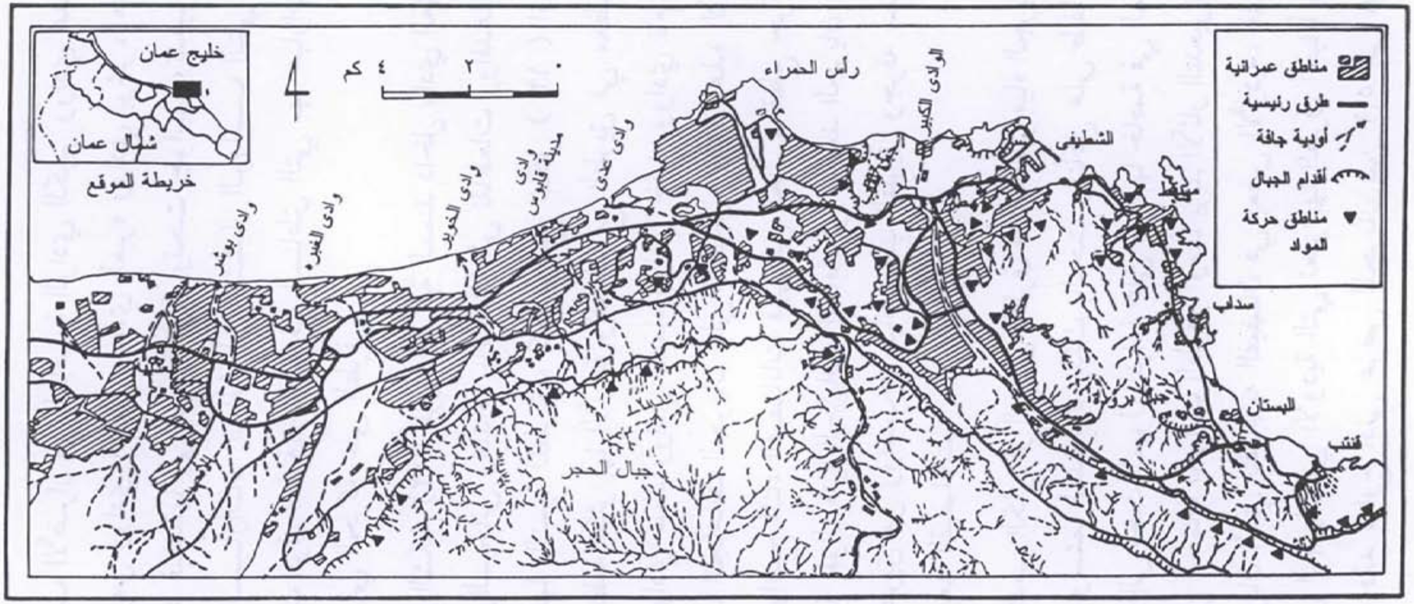
أ - تدمير كلي للطريق والمنشآت المقامة بالقرب منه وعلى جوانب مجاري الأودية. ومن الفيضانات التي كان لها آثار كبيرة على الطرق فيضان عام ١٩٨٨ لأودية حلتى والصلاحي التي كان لها آثار كبيرة على مدينة صحار والقرى المجاورة لها، وتوضح اللوحة (١٥) آثار تدمير الطرق داخل صحار والفوضى التي خلفها الفيضان.

ب - تدمير لبعض أجزاء من الطريق وهو الأمر الغالب في معظم الفيضانات على الطرق المرصوفة والممهدة في عمان، وتتأثر معظم طرق ومنشآت المدن والقرى في شمال عمان خاصة في سهل الباطنه، كما تأثرت بشكل واضح العاصمة مسقط من فيضانات ١٩٨١، ١٩٨٢، ١٩٨٧، ١٩٨٨، ١٩٩٠، ١٩٩١، ١٩٩٧، ١٩٩٨، وقد ظهرت آثار التدمير واضحة على الطرق في أجزاء عديدة منها مثل : الحيل وروى وسوق مطرح والموالح والرسيل ووادي عدى، وجميع هذه المناطق حدث بها تدمير في أجزاء من طرقها ومنشآتها الصناعية والمباني السكنية، وأيضاً في المزارع بسهل الباطنه. وتوضح اللوحات (١٣، ١٤، ١٥، ١٦) قوة الفيضانات وآثار التدمير الذي تخلفه في المناطق العمرانية بعمان. ويوضح الشكل (١١) منطقة العاصمة مسقط والامتداد العمرانى المحصور بين الساحل من الشمال وجبال الحجر من الجنوب، كما توضح الأودية التي تتجه مباشرة وتقطع الطرق والمناطق العمرانية حتى تصل إلى الخليج، ومن هذه الأودية

التي تسبب الأضرار في العاصمة الوادي الكبير ووادي عدى ووادي مدينة قابوس ووادي الخوير ووادي الغبره ووادي بوشر، هذه الأودية تؤدي عند فيضانها إلى قطع الطرق ونحت جوانبها وتدمير المنشآت وجرف السيارات، إضافة إلى انتشار الرواسب التي تجرفها الفيضانات فوق الطرق خاصة في المناطق التي بها عبارات ايرلندية مما يؤثر في الحركة على الطرق.

كما يوضح الشكل (١٢) طريق الشرقية الممتد داخل وادي العق وتقاطعه مع أودية فنجه والسيجانى وعندام، بالإضافة إلى تقاطعات روافدها التي تتغير اتجاهات جريانها بالنسبة للطريق، كما يوضح شكل (١٣) امتداد نفس الطريق داخل منطقة تكثر بها الأودية وتتقاطع مع الطريق في معظم أجزائه، ويقطع الطريق وادي سمد ووادي مسفاه ووادي خفينه ووادي نام، ويوضح الشكل اختلاف اتجاهات الجريان على الطريق، وتؤثر هذه الأودية على الطريق بشكل واضح أثناء الفيضانات فهي في الغالب تقطع حركة المرور من والى الشرقية طوال فترة الجريان، إضافة إلى ما بعد الجريان وما يخلفه من آثار على الطريق من رواسب وأحياناً نحت الطريق وجرفه مما يستدعى الصيانة الدائمة بعد الفيضانات.

ويحدث التدمير الكلي أو الجزئى للطرق عندما تعبر مياه الجريان الطريق لمسافات طويلة وتستمر لمدة تؤثر بذلك بالنحت والتآكل على طبقات رصف الطريق بالإضافة إلى نحت الميول الترابية على جوانبها خاصة في المناطق التي تختفى بها وسائل الحماية لجوانب الطرق. ومما يزيد الآثار التدميرية للفيضان قوة عرض الجريان الذي يتقدم به الفيضان في بعض الأودية، فقد سجلت القياسات عرض الجريان في الأودية التي تعبر بها الطرق أحياناً ويوضحها الجدول (١١)، فقد تراوح أدنى عرض للجريان بين ٥,٢ إلى ٣٩٨ متر،



شكل (١١) توزيع المناطق المعرضة لحركة المواد وخطر الجريان السيلي في محافظة مسقط

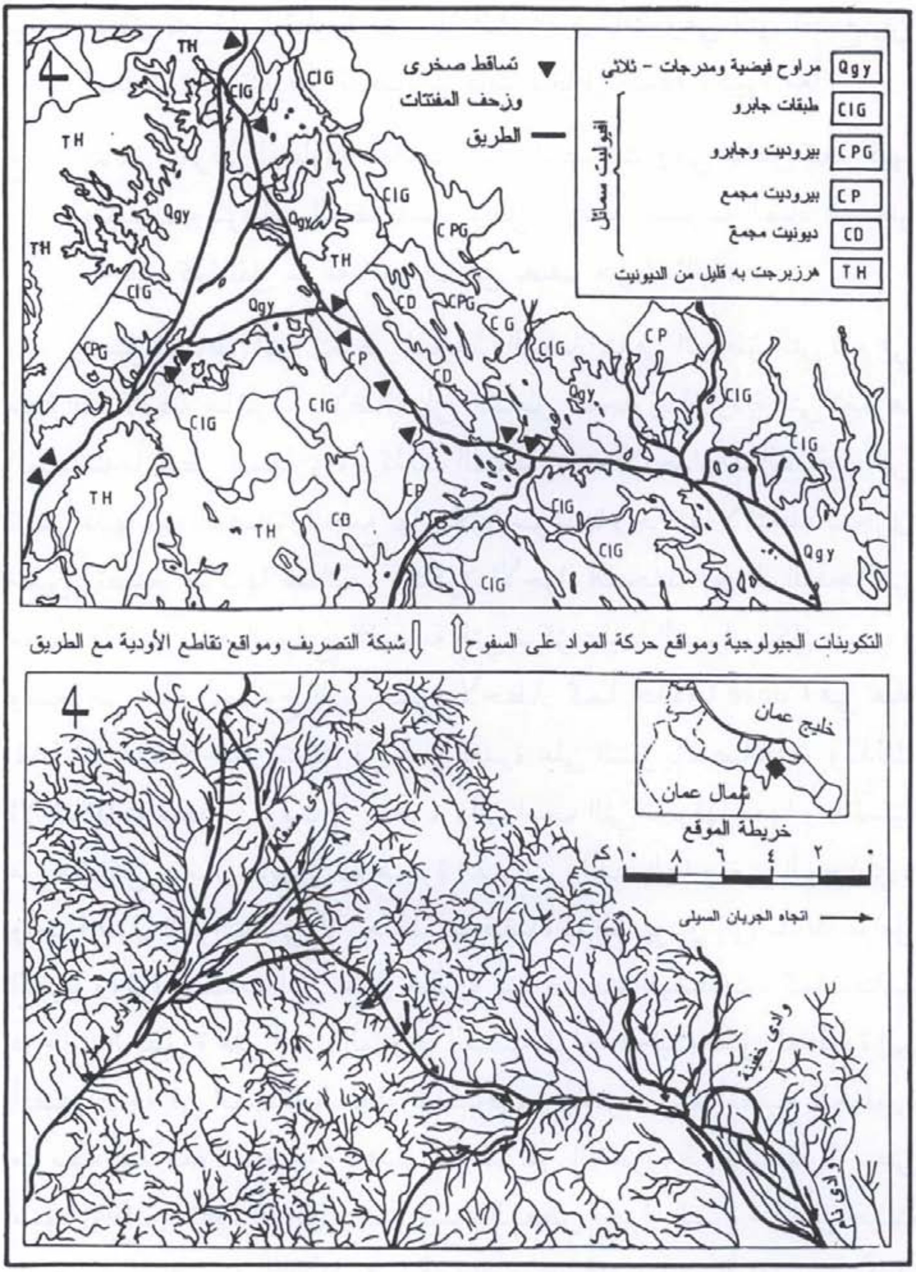
بمتوسط قدره ٨٦,٤ متر وانحراف معيارى ٨٣,٥ متر، كما تراوح أقصى عرض للجريان بين ١٩ إلى ٤٠٥ متر بمتوسط قدره ١٤٨,٤ متر وانحراف معيارى ٨٦,١٩ متر. ويتضح من هذه القياسات المسافة الكبيرة التي يتقدم بها الفيضان على الطرق، وقد سجلت أعلى قياسات في أودية العين وعندام والعميري والبطحاء وهي من الأودية الكبيرة وتقطع الطرق من الجهة الغربية والجنوبية الغربية من جبال عمان، يليها أودية محضه والفتح والجزى والحواسنه وينقل وهي أودية تقطع طريق مطرح - خطمة ملاحه في سهل الباطنه.

ومن حيث درجات الخطورة التي يسببها الجريان السيلي للأودية تتفاوت المناطق فيما بينها تبعاً لعدد من المعايير، وتهدف معظم الدراسات التي تتناول الفيضانات والسيول إلى التوصل لمعايير وتصنيف لمناطق الخطورة حتى يمكن تجنبها أو التعامل معها بصورة مناسبة. ويمكن تقسيم مناطق شمال عمان تبعاً للمعايير التي وضعتها وزارة موارد المياه والتى تعتمد في الأساس على عمق الجريان وسرعته بالإضافة إلى مرات تكرار الفيضان، وقد قسمت إلى ثلاثة مناطق في درجة خطورتها وهي :

أ - مناطق تتعرض لخطورة قصوى أثناء الفيضانات إذا ما بلغ ارتفاع منسوب المياه أكثر من نصف متر وبلغت سرعتها نصف متر / ثانية، ويوضح الجدول (١١) أن متوسط أقل عمق للجريان بلغ ٠,٧٧ متر، كما بلغ متوسط أدنى سرعة للجريان ١,٤ متر / ثانية، ويعنى هذا أن الفيضانات في معظم الأحوال تمثل خطورة قصوى على الطرق والمناطق العمرانية. كما تتعرض المناطق لخطورة قصوى إذا ما زادت سرعة الجريان عن ٢ متر / ثانية حتى إذا ما كان منسوب المياه أقل من نصف المتر.



شكل (١٢) مورفولوجية المناطق المجاورة لطريق الشرقية داخل وادي العق.



شكل (١٣) مورفولوجية المناطق المجاورة لطريق الشرقية
بعد الخروج من وادي العق متجهاً إلى ابراء

ب - مناطق تتعرض لخطورة متوسطة أثناء الفيضانات وهي التي تجمع بين المناطق التي تتعرض لفيضانات ذات مخاطر طفيفة وكبيرة معاً.

ج - مناطق تتعرض لخطورة منخفضة أثناء الفيضانات وهي مناطق تتغير فيها مناسيب وسرعات الفيضانات، ويقل متوسط منسوب المياه عن متر واحد، كما تقل سرعة الجريان عن نصف متر / ثانية.

وتتمثل المناطق التي تتعرض لمخاطر الفيضانات في المناطق التي تقع في مسارات الأودية مباشرة، بالإضافة إلى المناطق المجاورة للأودية التي تغمرها المياه عندما تفيض المجاري، وكذلك المناطق ذات الانحدارات الطفيفة والتى تنتشر عليها مياه الفيضان وتتجمع بها وتكون سرعاتها وحركتها لا تتحدد بمجرى معين وتصبح حركتها غطائية. وتتكون الأجزاء المحيطة بجبال الحجر من مجموعة كبيرة من المراوح الفيضية التي تركز عليها العمران بكل صوره، وتتعرض هذه المراوح إلى بعض الأخطار كما حددها Cooke في عام ١٩٨٤، هذه الأخطار تتمثل في عدم القدرة على التنبؤ بالفيضانات، وكذلك الاختلافات بينها من وقت إلى آخر، والرواسب التي تجرفها معها وما تسببه من مشاكل عند ارسابها، ثم هجرة القنوات وانفصالها وتغير المجاري، وأخيرا طول الفترات التي لا تحدث بها فيضانات مما يؤدي إلى نشاط عوامل التعرية ووفرة المفتتات التي تمثل خطورة عند حدوث الفيضانات. كما تختلف درجات الخطورة على أجزاء المروحة الفيضية الواحدة حيث تصل الخطورة إلى أقصى درجة في المنطقة المجاورة للمجرى مباشرة، بينما تصبح الخطورة متوسطة عند قمة المروحة وقاعدتها، بينما تقل الخطورة في المنطقة الوسطى منها (Graf, 1988, p. 194). كما قسم البعض أجزاء المروحة من حيث الخطورة إلى قسمين : الأول هو رأس المروحة عند مخرج الوادي وهو قليل الخطورة، والقسم الثاني هو قاعدة المروحة وفيها تكون الخطورة مرتفعة

ومتوسطة، وبطبيعة الحال يكون المجرى ذا خطورة مرتفعة (Miliaresis, 1999)، ويتضح من ذلك أن معظم العمران في سهل الباطنه والسهول الداخلية في غرب الجبال تتعرض لخطورة تتراوح بين المرتفعة والمتوسطة حيث يتركز العمران عند قمم المراوح بالقرب من الجبال أو عند قاعدة المراوح خاصة في سهل الباطنة بالقرب من الساحل.

أما من حيث تكرار الفيضانات فيمكن تقسيم شمال عمان إلى مناطق تتعرض لفيضانات ذات تكرار عالى وهي المناطق التي تتكرر فيها الفيضانات بين سنة وخمسة سنوات، ومناطق ذات فترات تكرار متوسطة تتراوح بين ٦ سنوات و ٢٠ سنة، وأخيراً مناطق ذات فترات تكرار منخفضة تتراوح بين ٢١ سنة و ١٠٠ سنة. ويمكن من خلال منحنيات الفيضانات (شكل ١٤) حساب كثافة التصريف المتوقعة خلال هذه الفترات إذا ما توفرت مساحة التصريف فقط. ويوضح الجدول (١٢) حسابات لكثافة التصريف لمجموعة من الأودية خلال فترات ٥، ١٠، ٢٠، ٥٠، ١٠٠ سنة، ويوضح الجدول كذلك قياسات متوسط تصريف الذروة للأودية خلال فترات تتراوح بين ١٤ - ٢٢ سنة، وقد وضح أن أعلى فيضانات يمكن أن تتكرر في أودية ضيقة والطائيين وعندام وبنى خالد، يليها أودية ابراء وخبيب وضنك وسرين وعاهن وعميري ومعيدن. ويفيد حساب التكرارات للفيضان في وضع المعايير المناسبة لبناء منشآت التصريف على الطرق وحمايتها من خطر الفيضانات ويتطلب ذلك بطبيعة الحال قياسات دقيقة لجميع الأودية خاصة ما يسبب خطورة على المناطق العمرانية المأهولة.

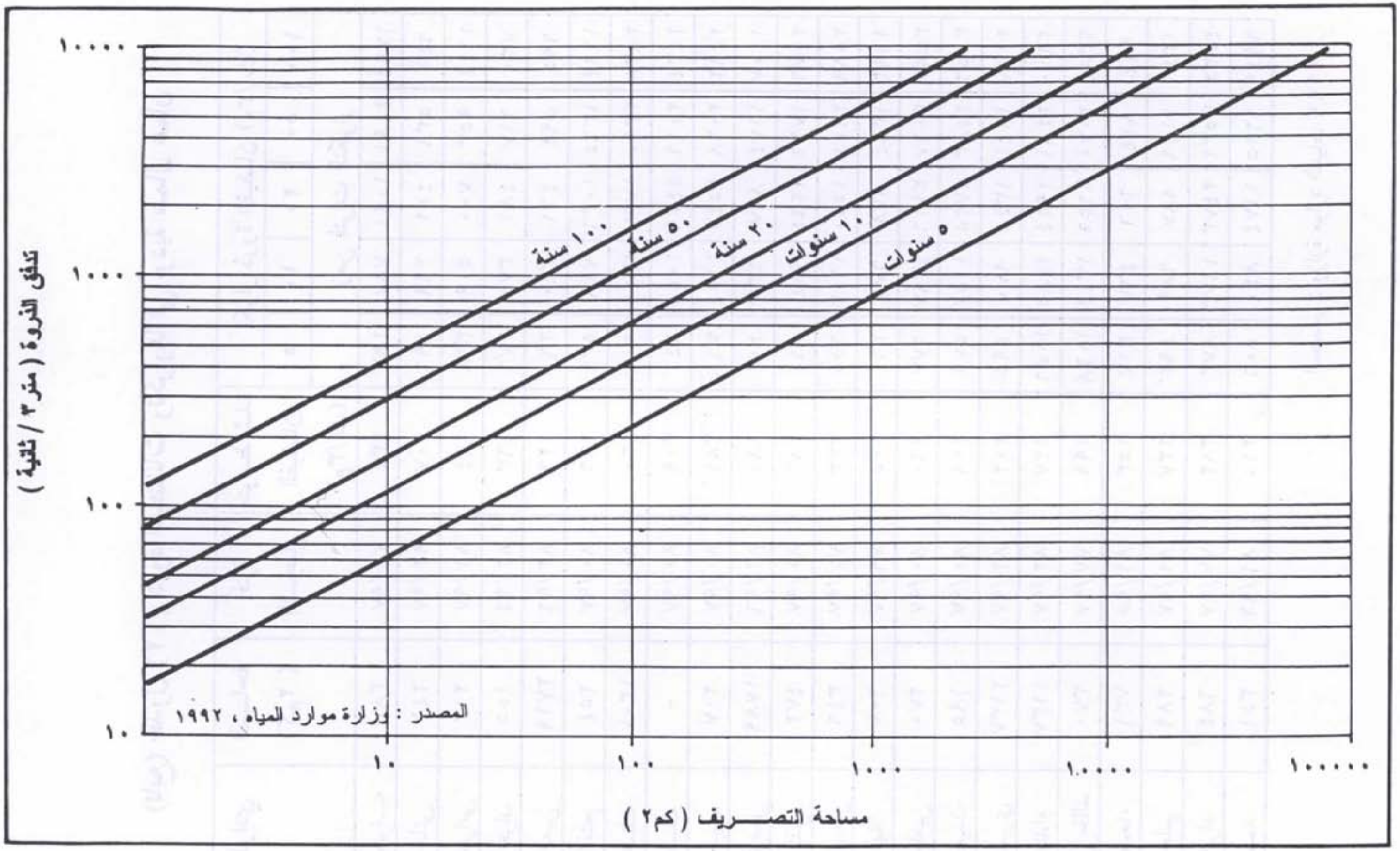
جدول (١٢) ذروة الفيضانات وتكرارها في أودية شمال عمان

الوادي	المساحة (كم٢)	فترة التسجيل	متوسط شدة الفيضان (م٣/ث)	تكرار ذروة القيضان (م٣/ث)				
				٥	١٠	٢٠	٥٠	١٠٠
				زمن فترات التكرار				
عدى	٣٠٨	٨٠/٩٨	٢١٦	٤٤٦	٧١٥	٩٨٤	١٣٤٠	١٦٠٩
العق	١٢٥	٨٠/٩٨	٨٥	١٥٣	٢٣٣	٣١٢	٤١٧	٤٩٧
الخوض	١٦٥٧	٧٢/٩٨	٢٦١	٥٦٩	٩١١	١٢٥٤	١٧٠٧	٢٠٤٩
عربيين	٣٠٧	٨١/٩٦	٢٨٣	٦٣٠	٩٨٠	١٣٢٩	١٧٩١	٢١٤١
ضيقة	١٨٥٦	٧٦/٩٦	٧٥٠	١٥١٢	٢٥٠٠	٣٤٨٨	٤٧٩٤	٥٧٨٣
ضيقة	١٧١١	٧٥/٩٦	٨٩٣	٢١١٥	٣٦٣٠	٥١٤٥	٧١٤٨	٨٦٦٤
الأنصب	٥٠	٨٠/٩٥	٤٤	٨٣	١٣٧	١٩٠	٢٦٠	٣١٤
جنه	١٣٠	٨٢/٩٥	٣٨	٧٧	١٣٠	١٨٤	٢٥٤	٣٠٨
ميح	٤٧٨	٨١/٩٦	١٢٥	٢٥٧	٤٤٠	٦٢٣	٨٦٥	١٠٤٨
مجلاص	٥٥٤	٧٩/٩٦	١٥٥	٣٥١	٥٦٣	٧٧٦	١٠٥٧	١٢٦٩
سرين	٢٩٨	٨٢/٩٥	٢١٤	٩٤٥	١٦٣٠	٢٣١٥	٣٢٢١	٣٩٠٦
الطائيين	١١٠٥	٨٠/٩٦	٦٧٥	١٥٢٣	٣٠٣٧	٤٥٥٢	٦٥٥٤	٨٠٦٨
الأبيض	٧٦٣	٧٥/٩٧	٢٧٨	٥٣٢	٧١٤	٨٩٥	١١٣٥	١٣١٧
الأبيض	٧٥١	٧٥/٩٧	٣١٦	٥٧٧	٧٤٨	٩١٨	١١٤٣	١٣١٣
عافى	٣١٣	٨٥/٩٧	٢٥٦	٤١٥	٥٠١	٥٨٨	٧٠٢	٧٨٨
عوابى	٢٥٤	٨٥/٩٧	١٢٩	٢٣٠	٣٣٨	٤٤٥	٥٨٧	٦٩٤
بني غافر	٦٠٢	٧٦/٩٧	٢٨١	٥٥٣	٧٤٣	٩٣٣	١١٨٤	١٣٧٣
بن خريص	١١١٢	٧٧/٩٧	٣٦	٦٥	٩٧	١٢٩	١٧١	٢٠٣
فار	٦٨٧	٨٠/٩٧	٣٧٣	٦٥٦	٨٧١	١٠٨٧	١٣٧٢	١٥٨٨
فارع	١٧١	٨١/٩٧	٢٥٣	٤٢٦	٥٥٥	٦٨٤	٨٥٤	٩٨٣
ساهتن	١٦٥	٨٣/٩٧	١٠٦	١٩٦	٢٨٠	٣٦٥	٤٧٧	٥٦٢
عاهن	٧٣٤	٨٢/٩٧	٤٠٢	٦٨٦	٨٩٧	١١٠٩	١٣٨٨	١٥٩٩
الجزى	٦٣٠	٧٩/٩٧	٣٣٣	٦٠٢	٧١٣	٨٢٥	٩٧٢	١٠٨٤
بني عمر	٢٠٤	٨٠/٩٧	١٦٠	٢٦٤	٣٩٤	٥٢٤	٦٩٦	٨٢٦
فزح	٢٦٦	٨١/٩٧	١١٢	٢٣٥	٣٣٨	٤٤١	٥٧٨	٦٨١
حتى	٤٣٧	٨١/٩٧	٢٧٥	٦٠٤	٨٦٦	١١٢٩	١٤٧٦	١٧٣٨

(تابع) جدول (١٢) ذروة الفيضانات وتكرارها في أودية شمال عمان

الوادي	المساحة (كم٢)	فترة التسجيل	متوسط شدة الفيضان (م٣/ ث)	تكرار ذروة القيضان (م٣/ ث)				
				٥	١٠	٢٠	٥٠	١٠٠
				زمن فترات التكرار				
الحواسنه	٣٨٧	٧٧/٩٧	٢٣٥	٤٨٣	٧٨٧	١٠٩٠	١٤٩١	١٧٩٤
حلتى	٢٤٢	٨٢/٩٧	١٠٧	١٩٦	٢٩٩	٤٠١	٥٣٨	٦٤١
صرامى	٢١٢	٨١/٩٧	١٤٤	٣١٨	٥٠٩	٧٠٠	٩٥٣	١١٤٤
أجران	١٥٥	٨٢/٩٦	١٦٣	٢٧٦	٣٧٨	٤٨١	٦١٧	٧٢٠
العين	٢٧١٩	٨٢/٩٦	١٢٦	٢٦٠	٣٦٠	٤٦١	٥٩٤	٦٩٥
الفتح	٢٥٤	٨٠/٩٧	٢٩٦	٥٣٩	٧٨٨	١٠٣٦	١٣٦٥	١٦١٤
ضنك	١٣٠٧	٨٠/٩٧	٤٣٠	٩٠١	١٣٤٩	١٧٩٧	٢٣٩٠	٢٨٣٨
ضنك	–	٨٠/٩٧	٣٠٩	٦٤١	١٠٥٦	١٤٧١	٢٠١٩	٢٤٣٤
خبيب	٢٠٧	٨٠/٩٧	٣٨١	٧٦٠	١١٥٤	١٥٤٧	٢٠٦٨	٢٤٦٢
لوسيل	١٧٨٩	٨٢/٩٦	١٨١	٤٠٢	٦٣٥	٨٦٧	١١٧٤	١٤٠٧
ينقل	٤٧٢	٨٠/٩٧	٢٨٣	٥٦٤	٩١٤	١٢٦٤	١٧٢٦	٢٠٧٦
الأبيض	٣٤٦	٧٧/٩٧	٣٣٣	٦٥٥	١١٠٣	١٥٥٠	٢١٤١	٢٥٨٩
بهلا	٦٠٧	٧٩/٩٧	٢٠٥	٣٦٤	٦٧١	٩٧٨	١٣٨٤	١٦٩٢
حلفين	٢٧٠	٨٠/٩٧	٢٦٠	٦٧٧	١٣٩٧	٢١١٦	٣٠٦٧	٣٧٨٧
معيدن	١٩٥	٨٠/٩٧	٢١٩	٥٧٩	١١٥٢	١٧٢٥	٢٤٨٣	٣٠٥٦
عميري	٢١٣٧	٨٢/٩٧	٢٠٢	٥٩٥	٩٧٠	١٣٤٥	١٨٤١	٢٢١٧
عندام	١١٣٧	٨٢/٩٧	٥٢٧	١٠٥٦	١٤٨٥	١٩١٤	٢٤٨١	٢٩١٠
بنى خالد	٣٧٠	٧٧/٩٧	٥٩٩	١٠٢٨	١٣٤٢	١٦٥٦	٢٠٧٠	٢٣٨٤
بطحاء	٧٣١	٨١/٩٥	١٥٣	٣١٧	٤٦٧	٦١٦	٨١٤	٩٦٤
حلم	٢٨٩	٨١/٩٧	٢٢٧	٤٩٢	٦٨٩	٨٨٧	١١٤٩	١٣٤٦
ابراء	٦٨٤	٧٧/٩٧	٣٨٢	٨٧٣	١٦٧٣	٢٤٧٣	٣٥٣١	٤٣٣٢
سمد	٣٥١	٨١/٩٦	٢١٥	٥٠٦	٨٤٠	١١٧٤	١٦١٥	١٩٤٩

المصدر : وزارة موارد المياه، ١٩٩٩



شكل (١٤) منحنيات الفيضانات لتحديد تدفق الذروة تبعاً لفترة تكرار حدوثها

٥ - وسائل الحماية من الفيضانات وتجنب أخطارها :

لعل أول ما يمكن الإشارة إليه في هذا المجال هو تجنب إقامة المنشآت والطرق في مخارج الأودية أو داخلها وبذلك نتجنب الأضرار التي يمكن أن تصيب المنشآت وكذلك نتجنب التكلفة المرتفعة لإنشاء وسائل حماية مختلفة تقي من خطر الفيضانات. ويجب أن يسبق هذه المشروعات دراسات تفصيلية عن أحواض التصريف واتجاهات الجريان السيلي وشدته ويتطلب ذلك بالضرورة توفير محطات الأرصاد والقياسات المختلفة لقياس سرعة وعمق وعرض الجريان، إضافة إلى دراسات تكرار الفيضانات خلال الفترات الزمنية المختلفة.

ومن الملاحظات التي يجب أن تأخذ في الاعتبار عند إقامة الطرق أن يكون منسوب الطريق على نفس منسوب الوادي، فكلما كان منسوب الطريق أكثر ارتفاعاً أدى ذلك إلى نحته وتآكله أثناء الجريان المتكرر، لذلك يجب أن يكون منسوب الطريق هو نفسه منسوب قاع الوادي. كما يجب أيضاً الأخذ في الاعتبار أن تقاطع مياه الجريان مع الطريق يؤدي إلى حدوث نحت تراجعي على جوانب الطريق Head Ward Erosion (سالم، ١٩٩٣، ص٢٣)، ولكي يراعى ذلك يجب أن يتم تكسية الطريق على طول المجرى، كما تمتد الطرق في الغالب على مدرجات الأودية أثناء عبورها داخل الوادي لكي يبتعد عن المجرى، إلا أنه من حين إلى آخر يمتد الطريق داخل المجرى أو يتقاطع مع بعضها مما يحتم معالجة الطرق في هذه المواقع تبعاً لظروف كل منها. وتتضح هذه الصورة داخل الوديان وعلى الطرق الممهدة التي تقطع جبال الحجر من الشرق إلى الغرب مثل طريق الحواسنة عبرى وطريق وادي بني خروص الممتد من العوابى حتى قيوت والطريق من بركة الموز إلى سيق وطريق مسفاة العبريين.

وبالرغم من ذلك ومعرفة الأخطار التي يمكن أن تلحق بالمراكز العمرانية والمنشآت والطرق عندما تقام في أو بالقرب من مجاري الأودية، إلا أن الامتداد العمرانى وخطط التنمية والموقع الجغرافي يحتم على الإنسان الإقامة في هذه المناطق والتعايش مع أخطارها ومحاولة تجنبها، ويحاول أن يوفر لنفسه وسائل حماية مختلفة تبعاً لظروف المنطقة. ونظراً للتركز العمرانى في سهل الباطنة والجانب الغربي من جبال الحجر ووجود العدد الكبير من الأودية التي تقطع الجبال وتصرف إلى السهل الساحلي والصحراء الداخلية، ومن أجل التقليل إلى أدنى قدر ممكن من مخاطر الفيضانات المحتمل حدوثها فقد أقيم العديد من وسائل الحماية على الطرق.

ويتحكم في نوعية وسيلة الحماية كمية تصريف الوادي بالإضافة إلى عدد مرات تكرار الفيضان، ويتوقف على ذلك حجم الوسيلة التي سيتم إنشاؤها حيث توجد علاقة واضحة بين تكرار الفيضان والسعة التصميمية للمنشآت المقامة على الطرق لتصريف مياه الجريان، وقد شمل دليل تصميم الطرق في عمان عدد من الوسائل يتم إنشائها لحماية الطرق من خطر الفيضانات، وقد اعتمد في تصميم هذه المنشآت على قيم تكرار الفيضانات خلال ٥، ١٠، ٥٠، ١٠٠ سنة (Ministry of Communication, 1994، وتختلف كل منشأة من منشآت الحماية فالجسور تصمم بناءاً على تكرار الفيضانات كل ١٠٠ سنة، بينما العبارات والمعابر الأيرلندية تعتمد على الفيضانات التي تحدث كل ٥٠ سنة، بينما الخنادق وقنوات التصريف تعتمد على الفيضانات التي تتكرر كل ١٠ سنوات، وأخيراً مجاري تصريف مياه الأمطار كل ٥ سنوات (باكثير، ١٩٩٥).

ويعتمد هذا التصنيف على مدى الجدوى الاقتصادية من إقامة منشآت الحماية على الطرق، ونظراً لتضاعف تكلفة إقامة المنشآت التي يمكن

إقامتها تبعاً لتكرار الفيضانات التي تحدث كل ١٠٠ سنة أو ٥٠ سنة، لذا يأخذ في الاعتبار تصميم العبارات والخنادق وقنوات التصريف على الفيضانات التي تتكرر على فترات قصيرة وهي الأقل في كميات تصريفها وأخطارها مع الأخذ في الاعتبار القيام بصيانة الأضرار التي تنجم عن فيضانات أكبر من المتوقع في تصميم وسائل الحماية ومن هذه الوسائل التي تعتمدها عمان في دليل تصميم الطرق (Highway Design Manual, 1994) ما يلي:

أ - **الجسور Bridges** : تعتبر الجسور أكثر الوسائل كلفة بين وسائل الحماية، ولا يتم إقامتها إلا على الأودية الكبيرة ذات التصريف الكبير والتأثير الواضح على الطرق ومن هذه الجسور جسر صحار - صحم، وجسر الخابورة - السويق على طريق السيب - العقر.

ب - **الجسور الأيرلندية Irish Bridges** : وهي نوع من الجسور التي تسمح بمرور مياه الجريان فوق الطريق في حالة الفيضانات العالية، بينما الفيضانات العادية والمتوسطة فتمر المياه من العبارات اسفل الطريق. ويراعى في هذا النوع من الجسور أن عبور المياه فوق الطريق يسمح بحركة المرور عليه أثناء الجريان.

ج - **المعابر الأيرلندية Irish Crossings** : وتستخدم عندما تكون البيانات عن تدفق الوادي قليلة ويتميز المجرى باتساعه وقلة عمق مياهه، لذلك يكون منسوب الطريق في نفس منسوب قاع الوادي ليسمح بمرور مياه الجريان أعلى الطريق. ويستخدم هذا النوع بكثرة في عمان نظراً لقلة تكلفته، إلا أنه يؤدي إلى الكثير من الحوادث المرورية لعدم تقيد مستخدمى الطريق بالإشارات التحذيرية المثبتة على هذه المعابر والتى تشير إلى عدم العبور إذا وصل ارتفاع المياه على الطريق إلى الإشارات الحمراء المثبتة عند العبارات، وتحتاج هذه المعابر إلى

صيانة بعد كل فيضان لإزالة الرواسب التي يتركها الفيضان على الطريق في موقع المعبر.

د - **العبارات Culverts** : ويوجد نوعان من العبارات التي تقام اسفل الطرق وهي عبارات أنبوبية تختلف أقطارها فتبلغ ٦٠٠، ٧٥٠، ٩٠٠، ١٠٥ مم، وعبارات صندوقية تتراوح أقطار فتحاتها بين ١ - ٤ متر.

وتنتشر هذه الوسائل بصورة واضحة على جميع طرق السلطنة بلا استثناء، وقد بلغ عدد العبارات الأنبوبية ٥١٥ عبارة على طريق السيب العقر، كما بلغت عدد العبارات الصندوقية على نفس الطريق ٤١٦ عبارة، ويبلغ طول الطريق ٢٤١ كم، ويشير هذا العدد وطول الطريق إلى الكثافة المرتفعة للعبارات على هذا الطريق. وكذلك على الطرق المتفرعة من الطريق الرئيسى المتجه من مطرح إلى قريات بلغ عدد العبارات الصندوقية ٨٤ عبارة، وعدد العبارات الأنبوبية ٥٦ عبارة، بالإضافة إلى ٣٧ عبارة ايرلندية، وبلغ مجموع أطوال هذه الطرق ٦٨ كم.

وتحتاج هذه العبارات والجسور والمعابر إلى معالجات خاصة ودفاعات لتقوى على مواجهة الجريان وقوة النحت والتآكل، ورغم هذه الدفاعات إلا أنه من المفترض أنها قد تصاب بالأضرار سواء في أحد أجزائها أو تزال بكاملها، لذلك يوضع في الاعتبار دائماً صيانتها مباشرة بعد كل فيضان وتعديلها إذا لزم الأمر لذلك. وتشير تكلفة هذه المنشآت إلى التكلفة المرتفعة التي تصل أحياناً إلى ١٦ ٪ من تكلفة الطريق كما هو الحال في طريق بركاء - العوابى - الرستاق (باكثير، ١٩٩٥). كما ترتفع تكلفة إصلاح الأضرار الناجمة عن السيول إلى ملايين الدولارات كما أشرنا في جزء سابق.

أيضاً من الوسائل المتبعة للحماية بكثرة على جوانب الطرق في مناطق

عبور المجاري وجوانب المنشآت القريبة من مجاري الأودية تكسيتها بشبك مصنوع من السلك ملئ بالحصى والصخور النارية التي تستطيع مقاومة النحت والتآكل، ولزيادة مقاومتها توضع مادة أسمنتية بين الصخور والحصى ليزيد من تماسكها ومقاومتها أمام جريان المياه.

وتمثل التغيرات المناخية الحالية والمتوقعة في المنطقة الجافة والتى تعانى من شح في المياه زيادة في تفاقم مشكلة المياه في المنطقة، ومن هذا المنطلق نجد أن استغلال مياه السيول بجانب الحماية من أخطارها ومحاولة الاستفادة منها كمورد من موارد المياه أمرا ملحاً فرض واقعاً في منطقة الدراسة، حيث شيدت الدولة عدداً من سدود التغذية الجوفية للاستفادة من مياه السيول داخل الأودية الكبيرة، كما تعتبر السدود من الوسائل الهامة التي تعمل على التقليل من مخاطر الفيضانات إلا أنها أقيمت في عمان بغرض حجز مياه الفيضانات للاستفادة منها في تغذية خزان المياه الجوفية، وبذلك ساعدت أيضاً على تخزين كميات كبيرة من مياه الفيضانات وتخفيف الضغط على العبارات ليسهل عبور المياه منها تبعاً لسعة كل منها التصميمية.

والسدود المقامة في عمان من نوع السدود المتوسطة والتى تقام في المناطق الجافة عادة وتعمل على حجز مؤقت لمياه الفيضانات وتجميعها ثم تسريبها بعد ذلك لتساعد على تغذية المخزون الجوفى. كما يوجد بعض السدود الصغيرة التي تنفذ لتخزين المياه واستخدامها على مدار السنة من قبل الأهالى كما هو الحال في منطقة الجبل الأخضر، كما لا يوجد في عمان سدود من أجل الحماية من أخطار الفيضانات فقط سوى سد الرصاغ وهو سد يحمى المناطق الزراعية في صور من تقدم مياه البحر داخل خور رصاغ.

ويوضح الشكل (٧) مواقع بعض السدود في شمال عمان، وقد أقيمت

على الأودية الكبيرة وعند مواقع تسمح لها بتجميع أكبر قدر من مياه الجريان. ويحسب حجم المياه المحتمل حجزها أمام جسم السد تبعاً لأقصى فيضانات تتكرر ما بين ٥ - ١٠ سنوات بالنسبة للأودية التي تصرف للخليج، أو بحجم اصغر في الأودية الداخلية المتجهة إلى الصحراء. والسدود المقامة في عمان من النوع الترابى باستثناء سدى تنوف وغول فهي من النوع الركامى.

ويوضح الجدول (١٣) بعض هذه السدود المقامة في عمان وأبعادها وكميات المياه التي تم تخزينها في فيضان ديسمبر ١٩٩٥ للدلالة على كمية التخزين الكبيرة، حيث بلغت كميات تخزين المياه في جميع السدود ما يزيد على ١٨ مليون متر مكعب من المياه. كما يقدر لسد وادي الخوض تغذية الخزان الجوفى سنوياً بحوالى ٤,٨ مليون متر مكعب طبقا لتقديرات وزارة موارد المياه.

جدول (١٣) سدود التغذية الجوفية وحجم المخزون المائى في فيضان ديسمبر ١٩٩٥

السدود	عمق التخزين (متر)	حجم المخزون (مليون متر مكعب)	طول جسم السد (متر)	ارتفاع جسم السد (متر)
الجزى	٤,٦٥	١,١١٤	١٢٣٤	٢٠,٤
الحلتي/ الصلاحي	١,٠٤	٠,٢	٩٠٦٣	٤,٥
عاهن	٢,٦	١,٩٢٤	٥٦٤٠	٨
الحواسنه	٢,٩	٢,٥	٥٩٠٠	٦,٨
المعاول	٣,٣	٢,٩٣	٧٥٠٠	٨,٣
الطو	٣,٨٥	١,٨٢	٤٥٠٠	٩,٢
الفرع	٢,٢	٠,٠٩٦	٦٣٨	١٢
الخوض	٣,٥	٤	٥١٠٠	١١
الفليج	٣,٦٥	٠,٨٥	٥٣٠	٧,٥
تنوف	١١,٥٨	٠,٨١٩٢	١٣٥	١٧
قريات	١,٠٥	٠,٠٧٧	١٦٢٠	٥,٣

المصدر: وزارة موارد المياه، ١٩٩٥

ج - خطر تعرجات وانحناءات الطرق وأثر التضاريس عليها :

لقد اتضح من دراسة خصائص شبكة الطرق في شمال عمان أن معظمها ينحرف انحرافاً سلبياً واضحاً وتزداد تعرجاتها كما تشير مؤشرات الانعطاف، ويمكن إرجاع السبب في ذلك إلى التضاريس في المقام الأول، فالتضاريس تؤثر مباشرة على أوضاع الطرق واتجاهاتها ففي كثير من الأحيان خاصة في المناطق الجبلية تحدد التضاريس بشكل إجباري مسار الطريق، لذلك تعتبر دراسة خريطة التضاريس من أهم الخرائط التي تؤثر على الدراسات الجغرافية التطبيقية (فاروق عز الدين، ١٩٨٩، ص ٧٩). كما أن شدة تضرس المنطقة قد يحدد مدى إنشاء الطريق أو عدم إنشائه نظراً للتكلفة المرتفعة التي يتكلفها إنشاء الطرق الجبلية وترفع بذلك التكلفة عن العائد مما يؤدي إلى عدم الجدوى الاقتصادية من إنشاءه. ويتضح من الجدول (٣) أن أطوال الطرق تأثرت كثيرا بعامل التضاريس حيث بلغ مجموع أطوال الطرق الفعلية ١٢٣١ كم بينما أطوالها الافتراضية بلغ ٩٣٦ كم أي أن الطرق زادت بنسبة ٢٣,٣ ٪ عن أطوالها الحقيقية نتيجة لتعرجاتها الناتجة عن شدة التضرس، وبطبيعة الحال تؤدي هذه الزيادة في أطوال الطرق إلى زيادة تكلفة الطريق.

ويتضح في شمال عمان أثر التضاريس جلياً على معظم الطرق، فوجود جبال الحجر على هيئة قوس - كما أوضحنا من قبل - وامتداد الساحل بنفس الشكل أدى إلى امتداد الطريق الرئيسى من مطرح حتى خطمة ملاحة بمحاذاة الساحل تماماً لمسافة ٣١١كم، كما يمتد الطريق من نزوى حتى القابل بمحاذاة جبال الحجر من الجهة الغربية، وباستثناء هذان الطريقان نجد بقية الطرق تقطع سلسلة الجبال مثل الطريق إلى واحة البريمي والطريق إلى الوسطى والداخلية والشرقية بالإضافة إلى الطريق إلى قريات، وقد سلكت معظم هذه الطرق

النوافذ الطبيعية المتمثلة في الأودية الكبيرة التي قطعت الجبال، فأحياناً تسير الطرق في مجاري الأودية أو تمتد على جوانبها المرتفعة أو مدرجاتها، كما تحاول الطرق دائما تفادي مجاري الأودية لتعرضها لخطر السيول، وتفادي قمم المرتفعات والسفوح شديدة الانحدار فتدور حولها إن أمكن، الأمر الذي أدى إلى كثرة التعرجات والانحناءات على الطرق. ويؤدي ذلك إلى زيادة الخطورة على مستخدميها نتيجة للتعرجات الشديدة التي يصل الأمر فيها إلى حد انعدام الرؤية في بعض أجزاء من الطرق، كما هو الحال في طريق الشرقية في وادي العق وعلى طريق قريات في منطقة العقبة.

وتؤدي تعرجات الطرق وأحياناً شدة انحدارها إلى الخطورة على مستخدميها نتيجة لانعدام الرؤية لسائقى السيارات عند نقاط تقوس الطريق وتصبح الرؤية مفاجئة مما يصعب تفادي عملية التصادم خاصة في المناطق الخانقية التي يقل فيها عرض الطريق. كما تنعدم الرؤية أيضاً على الطرق التي تمتد على سفوح ذات انحدارات شديدة وتصبح الرؤية مفاجئة عند نقطة تغير الانحدار مما يصعب تفادي الاصطدام. وتزداد الخطورة عندما يجتمع تعرج الطريق مع شدة الانحدار مما يساعد على زيادة حالات التصادم والتدهور في هذه المناطق.

وتزداد خطورة الطرق عند تعرجها كلما انخفضت زاوية التقاء اذرع الانحناء أو عند قمة التقوس مما يعنى زيادة الانحناء والتعرج. وقد تم قياس عدد من زوايا الانحناء على الطرق عند قمة انحناء الطريق وقد تراوحت الزوايا بين ١٠° - ١٣٥° بمتوسط قدره ٩٤,٥°، وقد بلغ عدد الانحناءات الأقل من ٩٠° حوالى ٥٠ ٪ من القياسات. وتدل هذه القياسات على مدى خطورة الطريق عند هذه التعرجات خاصة ما يقل عن ٩٠° حيث تنعدم الرؤية ويصعب تفادي التصادم في المنحدرات.

ومن أكثر الطرق تعرجا وخطورة طريق مطرح - قريات حيث يعبر الطريق جبال الحجر الشرقي، وتمثل منطقة العقبة منطقة تقسيم المياه بين وادي سليل وأحد روافد وادي قحمه وهذه العقبة اخطر أجزاء الطريق حيث ينحنى الطريق على هيئة كوع أكثر من مرة مع شدة انحدار الطريق عند الصعود والهبوط مما يؤدي لزيادة الخطورة على الطريق وزيادة حالات تدهور السيارات من أعلي العقبة داخل الوادي، إضافة إلى حالات التصادم بالجروف المجاورة للطريق (لوحة ١٢).

وتعرف هذه الطرق بالطرق الكوعية العكسية (الالتفاف) Hair Pin Bends وتقام هذه الطرق نتيجة لوجود انحدارات شديدة ووديان عميقة وطبوغرافية متضرسة تفرض تخطيط الطريق على هيئة كوع عكسى، ويتطلب ذلك أن يكون انحدار الطريق عند حده الأدنى إضافة إلى توفير درجة كافية من الأمان. وتتطلب هذه الطرق مواصفات خاصة في طول اذرع الكوع وعرضه وانحدارات ميوله، وتختلف هذه المواصفات من منطقة إلى أخرى لكي تتمشى مع طبيعة الأرض، ولكي تكون الرؤية واضحة في منطقة الكوع يجب أن تزال جميع معوقات الرؤية كما يتطلب إقامة مثل هذه الطرق إقامة حوائط ساندة Retain Walls وحوائط تكسية Revetment Walls للحماية من الانزلاقات الصخرية، كما يتطلب حماية الطرق من المشاكل التي تنتج عن الجريان المائى تزويدها بمصارف موازية للطريق والتى يطلق عليها مصرف قاطع Catch Water Drains (محمود توفيق، بدون تاريخ، ٥٦ - ٧١). وتكثر في منطقة الدراسة هذه المنحنيات على الطرق الممهدة خاصة التي تصل بين مناطق جبلية على ارتفاعات كبيرة، ومن هذه الطرق طريق بركة الموز - سيق وكذلك الطريق إلى مسفاة العبريين وجبل شمس ومعظم الطرق التي تصعد إلى الجبل

الأخضر، وتكثر بهذه الطرق هذا النوع من الالتفافات للتغلب على فرق المنسوب الكبير.

كما يعد طريق الشرقية داخل وادي العق أيضاً من الطرق التي تعانى من كثرة تعرجاتها لمسافة تصل إلى ٢٤ كم يسير فيها الطريق داخل الوادي وتقل معظم تعرجاته الخطرة عن ٩٠°، وتزداد الخطورة في أن الوادي يقل عرضه وبذلك يقل عرض الطريق مما يزيد من خطورته. وتعانى الطرق الجبلية التي تسير داخل الوديان من خطر كثرة التعرجات وهي في الغالب طرق معبدة وتقل زوايا انحنائها عن ٩٠°، مثل طريق وادي مجلاص وهو طريق يصل بين قريات وطريق مسقط، وكذلك الطريق بين قريات ودبب وطريق سيفه وطريقا يتى داخل وادي ميح ووادي حويل والطريق إلى مزارع في وادي ضيقه وطريق الأبيض في وادي الأبيض المتفرع من طريق بركه - الرستاق.

* * *

الخاتمة

الأخطار الطبيعية أحداث تتم بشكل فجائى ناتجة عن عوامل طبيعية أو ناتجة عن عوامل طبيعية أثر عليها الإنسان بتدخلاته مما أدى إلى تغيرات في خصائصها، هذه الأحداث تؤدي إلى تدمير كلي أو جزئى في البيئة، كما أنها تضر بالإنسان وأنشطته، ويتطلب ذلك مواجهة آثارها من وقت إلى آخر تبعا لتكرار هذه الأحداث والأضرار. وتتعدد الأخطار الطبيعية وتختلف في شدتها من مكان إلى آخر، كما تختلف المعايير التي تقاس بها، ومن هذه المعايير مساحة المناطق التي تتأثر بالدمار وعدد الإصابات وحجم المواد التي دمرت، كما تصنف الأخطار الطبيعية تبعا لطاقة العامل المؤدى للدمار وتكرار حدوث الخسائر وعدد مرات ترددها. ويمكن إيجاز أهم النتائج التي توصلنا إليها في البحث إلى ما يلي :

أولا : البيئة الطبيعية لشمال عمان بيئة جبلية تمتد فيها جبال الحجر الشرقي والغربي على هيئة قوس من رأس مسندم حتى رأس الحد، وتصل أقصى ارتفاعاتها إلى ٣٠٠٩ متر، وتمتد على جانبيها السهول التي تختلف في اتساعها ومناسيبها ومواد سطحها، وتقطع سلسلة الجبال مجموعة من الأودية التي تنحدر على جانبيها، منها ما يصرف في الخليج ومنها ما يصرف إلى الداخل في السهول الصحراوية، وتنتهي هذه الأودية في السهول بمجموعة كبيرة من المراوح الفيضية. وقد أوضحت الدراسات الجيولوجية أن جبال عمان تتكون من نوعين من التكوينات هي : تكوينات أفيوليت سمائل النارية وتكوينات الحواسنة المحيطية، وقد تأثرت الجبال بعمليات كثيرة من الطى والتصدع خلال تاريخها الجيولوجي فقطعت إلى

كتل ضخمة بلغ عددها ١٢ كتلة. هذه البيئة الجبلية كان لها تأثير على عناصر المناخ في المنطقة فهي تؤثر على درجات الحرارة فتقل في جبال عمان عن بقية المنطقة، وكذلك تعدل من بعض اتجاهات الرياح. وتتلقى عمان خمسة أنواع من الأمطار هي : المطر التضارسى والجبهي والتصاعدي والإعصاري والموسمي. هذه البيئة الطبيعية تسببت في حدوث العديد من الأخطار الطبيعية على المراكز العمرانية في المنطقة وخاصة الطرق ومستخدميها.

ثانياً : من دراسة خصائص شبكة الطرق اتضح أثر التضاريس على تخطيط الطرق واتجاهاتها بالإضافة إلى تحديد مواقعها وفي كثير من الأحيان تفرض التضاريس اتجاهاً إجباريا لمسار الطريق. وقد دلت مؤشرات الانعطاف للطرق على أن بعضها تقل كفاءته من حيث المسافة لعبوره المناطق الجبلية والأودية مثل طرق مطرح - قريات والسيب - بدبد وبدبد - صور والرستاق - بركه. وترجع قلة كفاءتها إلى كثرة تعرجاتها وانحناءاتها لتفادي مناطق الخطورة في الجبال والامتداد داخل الأودية، كما أن بعض الطرق تتميز بكفاءتها تبعا لمؤشر الانعطاف مثل الطريق من مطرح حتى خطمة ملاحه وطريق صحار - البريمي وطريق نزوى - عبرى.

ثالثاً : تتعرض الطرق والمنشآت المقامة عليها ومستخدميها في شمال عمان إلى العديد من الأخطار الطبيعية، كما يتعرض الطريق الواحد لأكثر من نوع من الأخطار في مواضع مختلفة منه، أو أن بعض هذه الأخطار تتركز على طريق بعينه دون الآخر. وتتمثل أهم الأخطار التي تناولناها في هذا البحث في حركة المواد على السفوح القريبة من الطرق مثل التساقط الصخري والأنزلاقات وحركة المفتتات، وأخطار الجريان السيلي الذي تحدثه الأودية المتقاطعة مع الطرق أو تمتد في بطونها، إضافة إلى خطر تعرجات الطرق الناتج عن عبورها المناطق المتضرسة. وتمتد الطرق في

بعض الأحيان بمحاذاة الجبال أو تقطعها في أحيان أخرى لتربط المناطق الداخلية بالمناطق الساحلية، أو تمتد داخل الأودية. هذا الامتداد جعلها عرضة لخطر السيول عندما تجرى الأودية نتيجة للأمطار الغزيرة، كما أنها تصبح عرضة لخطر التساقط الصخري عندما تعبر الوديان الخانقية التي تقطع الجبال. كما أن ضيق السهل الساحلي خاصة في منطقة العاصمة أدى إلى الحاجة للتوسع الأفقى مما أدى إلى تقطيع أقدام السفوح وتعرضها بذلك لخطر التساقط الصخري.

رابعاً : حركة المواد على السفوح من أهم الأخطار التي تتعرض لها الطرق الجبلية في عمان، سواء كانت هذه السفوح طبيعية أو سفوح صناعية تكونت بسبب تدخل الإنسان، فجميعها معرضة للحركة وعدم الاستقرار، ونتيجة لعمليات النحت الرأسي والجانبي في الأودية فإن الطرق التي تعبرها تصبح معرضة لعمليات التساقط الصخري والزحف الصخري والانهيارات، وتؤثر على حركة المواد عدة عوامل هي :

- **عوامل جيولوجية** : تعرضت عمان خلال تاريخها الجيولوجي إلى حركات تكتونية عنيفة أثرت على وضع التتابع الجيولوجي وبنيته، وأدى ذلك إلى تكشف طبقات صخرية عديدة وزيادة درجة ميلها. فالطبقات المائلة أكثر تعرض العمليات التساقط الصخري، كما ساعدت كثافة الشقوق والفواصل المرتفعة في تجهيز الصخور لعمليات الحركة. وتتكون معظم جبال الحجر من صخور الجابرو والبيروديت والهارزبرجت والديوريت وهي صخور قاعدية أقل مقاومة لعوامل التعرية المختلفة وتكثر بها الشقوق والفواصل، ويزداد تأثير حركة المواد عندما يكون ميل طبقات أسطح الشقوق موازيا لاتجاه المنحدر أو أقل منه انحدارا خاصة عندما يكون هناك شقوق عمودية على اتجاه ميل الطبقات.

- **عوامل جيمورفولوجية** : تعمل التجوية بشقيها الميكانيكي والكيميائي على توفير المفتتات والكتل الصخرية المنفصلة من السفوح، كما تساعد على اتساع الفواصل والشقوق فتؤدي إلى سرعة سقوطها. ويتراوح المدى الحراري اليومي بين ١٤°-٢١,٨° س في الشتاء، ويتراوح بين ١٠,٧°-٢٥,٣°س في شهور الصيف وهو مدى كبير يظهر أثره في وفرة المفتتات الناتجة عن عمليات التقشر والتفلق على السفوح. وتتميز السفوح شديدة الانحدار بكبر حجم الصخور المتساقطة، بينما السفوح الأقل انحدارا تتميز في الغالب بصغر حجم صخورها المتساقطة. كما يؤثر طول السفح أيضاً على عدم استقرار أو ثبات المواد على السفوح، وتراوحت انحدارات السفوح على جوانب الطرق في منطقة الدراسة بين ١٠° - ٦٥° إضافة إلى السفوح الرأسية وشبه الرأسية. وتؤدي عمليات النحت الرأسي والجانبي داخل الأودية إلى تكون سفوح رأسية واضحة تصبح عرضة لحركات الصخور المكشوفة وتساقطها.
- **عوامل مناخية** : يؤثر المدى الحراري اليومي والفصلي الكبيرين على التكوينات الجيولوجية نظراً لما يؤدياه من تفاوت في معدلات التمدد والانكماش للمعادن التي تتكون منها الصخور مما يؤدي لزيادة المفتتات، كما تعمل الأمطار على تشبع التربة فيقل ضغطها على سطح السفح وبالتالى تقل قوة احتكاكها مما يؤدي إلى تحركها وحدوث بعض الانهيارات بعد سقوط الأمطار كما حدث في منطقة الوطية بالعاصمة.
- **عوامل بشرية** : يعمل تدخل الإنسان لشق الطرق وبناء المنشآت على زيادة حركة المواد على السفوح وعدم استقرارها، ويؤدي تدخل الإنسان إلى وجود ما يعرف بالسفوح الصناعية وهي تمثل نسبة كبيرة من السفوح النشطة في منطقة الدراسة، حيث يعمل تقطيع الإنسان لأقدام الجبال

والبروزات إلى تحول السفوح من حالة الاستقرار والاتزان إلى سفوح غير مستقرة وتحتاج إلى زمن طويل لكي تصل إلى حالة الاستقرار.

ومن الطرق التي تأثرت بعمليات التساقط الصخري بوضوح طريق الشرقية خاصة داخل وادي العق وطريق وادي الجزى وطريق بركه - الرستاق وطريق مرتفعات القرم وطريق مطرح - قريات. وتتعرض مناطق من العاصمة لعمليات التساقط الصخري الناتجة عن التدخل البشري مثل منطقة الوطيه وحلة السد والوادي الكبير. وقد تم التدخل للحد من خطورة هذه المناطق باتخاذ بعض الوسائل لحماية الطرق ومستخدميها مثل تقطيع السفوح على هيئة مدرجات سلمية الشكل وأحياناً تكسيتها بمادة أسمنتية إذا ما كانت السفوح تتكون من مفتتات صخرية، كما يتم تجريف واجهات السفوح من وقت إلى آخر، ووضع بعض الحواجز المكعبة التي تتكون من الشبك المعدني المليء بالصخور بمحاذاة السفوح وعلى جوانب الطرق لحمايتها من التساقط الصخري، كما تستخدم القضبان الحديدية في تثبيت بعض الكتل من التساقط وأيضاً تشجير بعض السفوح لمنع التساقط الصخري.

خامساً : يمثل جريان السيول المشكلة الثانية التي تتعرض لها منطقة الدراسة فعلى الرغم من أن المتوسط السنوي للأمطار في عمان حوالى ١٣٦ مم إلا أن أكثر من هذه الكمية يمكن أن تسقط في عاصفة واحدة، ويتميز التساقط المطرى بتفاوت كمياته وانحراف تواتر توزيعه خلال الشهور والسنوات. ويوجد في شمال عمان أكثر من ٧٣ حوض رئيسى، تتقاطع معظم مجاري هذه الأودية مع الطرق الرئيسية أو الفرعية أو تمتد الطرق بداخل مجاريها مما يؤدي إلى خلق العديد من المشاكل والمخاطر التي تتعرض لها هذه الطرق ومستخدميها.

ويتأثر الجريان السيلي في الأودية بنظام المطر من حيث كثافته ووقت

الذروة وفترة سقوط المطر. ويوجد نوعان من الفيضانات في عمان هي الفيضانات الفجائية والفيضانات ذات القمة الواحدة، ويتحكم في شدة الفيضان وحجمه عدد من العوامل مثل خصائص أحواض وشبكات التصريف وخصائص مجاري الأودية وخصائص المطر بالإضافة إلى المناخ ونوع التربة وكثافة التصريف وأطوال المجاري. ومن خصائص الفيضان المسؤولة عن التدمير عمق المياه والمساحة المغمورة وعدد مرات تكرار غمرها وسرعة التدفق وفصلية المطر وقمة التدفق وزمن التباطؤ وحمولة الفيضان من الرواسب ومعدل التسرب وكمية مياه الفيضان الجارية.

ويتعرض معظم شمال عمان للفيضانات، وتتأثر المناطق المعمورة أكثر من غيرها بآثار الفيضانات التدميرية، وتتمثل الخطورة في أن معظم المناطق العمرانية مقامة على أو بجوار مراوح فيضية قديمة أو حديثة كونتها الأودية. وتتعرض المراوح الفيضية لأخطار تختلف من جزء إلى آخر ففي المجرى والمناطق المجاورة له تكون الخطورة مرتفعة بينما تصبح الخطورة متوسطة عند قمة المروحة وقاعدتها، وتقل في المنطقة الوسطى. وتتمثل الخطورة على المراوح الفيضية في الرواسب التي تجرفها معها الفيضانات وطول الفترات التي لا تحدث بها فيضانات مما يؤدي إلى زيادة نشاط عوامل التعرية ووفرة المفتتات. ومن أهم العوامل التي تؤثر على الفيضانات كثافة الأمطار وتركزها، وتختلف كميات الأمطار في عمان من عاصفة إلى أخرى وتتوزع في مناطق متفرقة كما تختلف في كثافتها. وتتراوح كثافة الأمطار في عمان بين ٢,١-٣,٢ مم/ دقيقة في بداية العاصفة ثم تقل بين ٠,٠٧-٠,١١مم/ دقيقة في نهاية العاصفة، وتتميز شهور الصيف بكثافة أمطارها وخاصة شهر يوليو، بينما تتميز شهور الشتاء بكمياتها الكبيرة وسقوطها على فترات طويلة.

سادساً : أظهر تحليل الخصائص المورفومترية والتصريفية لعدد من

أحواض التصريف في شمال عمان وجود اختلافات واضحة بين نظم التصريف الخارجية التي تصرف إلى الخليج ونظم التصريف الداخلية التي تصرف إلى السهول الصحراوية الداخلية. وتتميز الأحواض ذات التصريف الخارجى بمساحات صغيرة ومتوسطة باستثناء أودية ضيقه وسمائل والبطحاء، كما تتميز أطوالها بأنها صغيرة ومتوسطة، بينما الأودية ذات التصريف الداخلى تميز بمساحات وأطوال كبيرة ويعتبر وادي العميري أكبر أودية المنطقة. وتكون الفيضانات التي تحدث في الأحواض الصغيرة المساحة أكثر شدة وتأثيراً، كما أنها تحدث بسرعة وتنتهي بسرعة. كما دلت دراسة معدلات الاستطالة والاستدارة على أن بعض الأودية يقترب شكلها من الشكل الدائرى مثل أودية طو والمعاول وبدع والرسيل والنصب ورجمى ومبره وحلم، والبعض الآخر يميل إلى الاستطالة. ويمكن القول بأن الشكل الدائرى للحوض ينتج عنه فيضان كبير نظراً لتركز الروافد في مركز الحوض على العكس من الأودية التي يتسم شكلها بالاستطالة فينتج عنها فيضانات ضعيفة.

كما أوضح تحليل خصائص تصريف الأودية بأن أودية ضيقة ومعيدن وحلفين أكثر الأودية تصريفاً، تليها أودية عندام وينقل وضنك والخبيب والفتح ثم بقية الأودية. ويدل هذا على أن مساحة الأحواض ليس لها تأثير على كمية التصريف، فبعض الأودية الكبيرة تأتى في المرتبة الثالثة من حيث التصريف والعكس. أما من حيث عمق مياه الجريان فقد تراوح متوسط عمق أقل جريان ٠,٧٧ متر، بينما بلغ متوسط أكبر عمق للجريان ٢,٣٦ متر. كما بلغ متوسط أدنى سرعة جريان ١,٤٢ متر/ ثانية ومتوسط أقصي سرعة جريان ٣,٣١ متر / ثانية. ويحدث الجريان السطحي غالبا عندما تكون كثافة الأمطار ١ مم/ دقيقة وكمية الأمطار تبلغ ١٠ مم في

العاصفة الواحدة، وقد تراوحت كثافة الأمطار في منطقة الدراسة بين ٢,١ - ٣,٢ مم / دقيقة مع كميات للأمطار تراوحت بين ٣١ - ٤٨ مم.

سابعاً : تؤدي حركة الجريان السيلي خلال الفيضانات في عمان إلى وجود ثلاثة اتجاهات للحركة على الطرق :

- حركة عمودية أو مائلة على الطرق نتيجة لاندفاع المياه عبر المجاري المائية التي تتقاطع مع الطرق.
- حركة موازية للطريق عندما تمتد الطرق داخل مجاري الأودية، أو عندما تفيض مياه الجريان وتزداد عن السعة التصميمية للعبارات والخنادق والمعابر.
- حركة المياه على الطرق مباشرة نتيجة لضيق الأودية في بعض أجزائها.

وتعمل هذه الحركات على خلق العديد من أشكال التدمير على الطرق، وتتفاوت خطورتها على أجزاء الطريق، فيحدث أحياناً تدمير كلي أو جزئى للطريق في بعض المناطق. ومن أوضح الفيضانات التي أثرت في شمال عمان الفيضانات التي حدثت في سنوات ٨١، ٨٢، ٨٧، ٨٨، ٩٠، ٩١، ٩٧، ١٩٩٨. ويحدث التدمير نتيجة لتآكل ونحت طبقات رصف الطرق ونحت الميول الترابية على جوانبها بالإضافة إلى النحت التراجعى الذي يحدث أثناء عبور مياه الجريان للطرق، كما تصنف مناطق عمان إلى عدة مناطق تبعاً لخطورة الفيضانات مثل :

- مناطق تتعرض لخطورة قصوى عندما يكون المنسوب نصف متر وسرعتها ٠,٥ متر / ثانية.
- مناطق تتعرض لخطورة متوسطة.
- مناطق تتعرض لخطورة منخفضة عندما تكون الفيضانات متغيرة في مناسيبها وسرعتها ويقل منسوبها عن متر واحد وتقل سرعتها عن ٠,٥ متر / ثانية.

ثامناً : يتحكم في نوعية وسيلة الحماية كمية تصريف الوادي بالإضافة إلى عدد مرات تكرار الفيضان، ويتوقف على ذلك حجم الوسيلة التي سيتم إنشاؤها، ومن وسائل الحماية المنشأة على الطرق في منطقة الدراسة: الجسور والجسور الأيرلندية والمعابر الأيرلندية والعبارات، كما يتم تكسية جوانب الطرق في مناطق عبور الأودية بشبك مصنوع من السلك مليء بالحصى والصخور النارية. وتنتشر هذه الوسائل بصورة واضحة وكثيفة على الطرق في منطقة الدراسة. كما تمثل السدود أحد الدفاعات التي تحجز جزءاً كبيراً من مياه الفيضانات وهي من نوع السدود المتوسطة وتم إنشاؤها أساسا لتغذية الخزان الجوفى للمياه.

تاسعاً : تؤثر التضاريس على الطرق بصورة واضحة فتؤدي إلى كثرة تعرجاتها وانحناءاتها، مما يؤدي إلى زيادة الخطورة على مستخدميها نتيجة للتعرجات الشديدة التي يصل الأمر فيها إلى حد انعدام الرؤية في بعض أجزاء الطريق، ونتيجة لذلك تصبح الرؤية مفاجئة لسائقى السيارات عند نقاط تقوس الطريق مما يصعب تفادي التصادم. كما تنعدم الرؤية أيضاً على الطرق التي تمتد على سفوح شديدة الانحدار وتصبح الرؤية مفاجئة أيضاً عند نقط تغير الانحدار مما يصعب تفادي الاصطدام. وتزداد الخطورة على الطرق عندما تنخفض زاوية التقاء أذرع الانحناء مما يعنى زيادة الانحناء والتعرج، وقد تراوحت زوايا الانحناء على الطرق بين ١٠°-١٣٥° بمتوسط ٩٤,٥°. ومن اخطر الطرق تعرجاً طريق مطرح - قريات وهو ما يعرف بالطرق الكوعية العكسية كما في منطقة العقبة، وهي منطقة بالغة الخطورة. كما توجد الطرق الكوعية العكسية على الطريق الواصل بين بركة الموز وسيق.

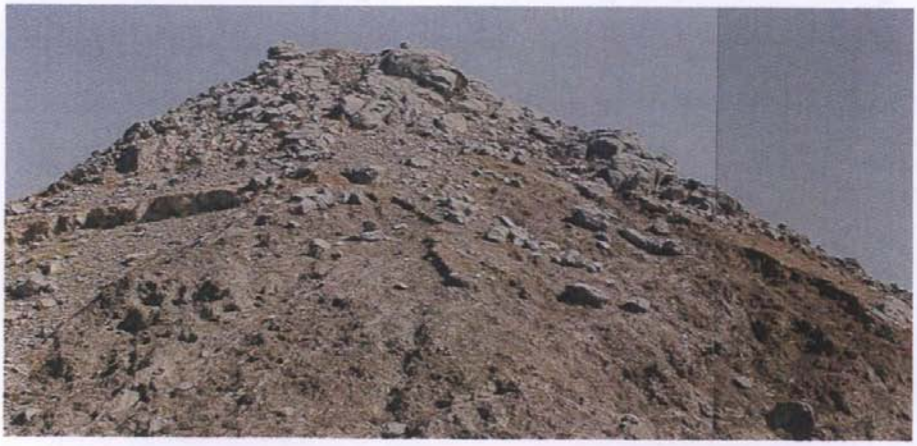
عاشراً : تم التعرف من خلال الدراسة على أنواع الأخطار الثلاثة التي تتعرض لها الطرق في منطقة الدراسة، وقد يتعرض الطريق الواحد إلى

الأنواع الثلاثة في أجزائه المختلفة في آن واحد، أو تقتصر إحدى المخاطر على طريق بعينه، ويمكن إيضاح أهم الأخطار التي تتعرض لها بعض الطرق التي تم دراستها :

- **طريق مطرح - خطمة ملاحه** : يبلغ طول الطريق ٣١١ كم وهو طريق يعتبر من الطرق الجيدة من حيث المسافة، حيث يبلغ مؤشر انعطافه ١١٣,٩٪. ويتأثر الطريق في منطقة العاصمة بالتساقط الصخري والزحف الصخري خاصة عند مروره بمرتفعات القرم، كما يتأثر بالجريان السيلي على طول امتداده نتيجة لمحاذاته جبال الحجر وتقاطعه مع معظم الأودية التي تنحدر ناحية الشرق والشمال الشرقي مثل أودية الرسيل والأنصب والوادي الكبير وعدى وهي أودية تؤثر على الطريق في منطقة العاصمة وتؤثر بصورة كبيرة على الطرق فيها أثناء الفيضانات، إضافة إلى العديد من الأودية مثل أودية سمائل والمعاول والجزى والحواسنة.
- **طريق مطرح - قريات** : يبلغ طوله ٩٤ كم ويعتبر أقل الطرق كفاءة من حيث المسافة حيث يبلغ مؤشر الانعطاف ١٨٠,٨٪، ويرجع ذلك لعبور الطريق منطقة جبال الحجر الشرقي ليصل إلى الساحل مما يؤدي إلى كثرة التعرجات عليه، ويمتد الطريق عبر أودية ميح وسليل وبعض روافد وادي مجلاص. ويتعرض الطريق في معظم أجزائه لخطر التساقط الصخري خاصة منطقة العقبة، كما يتعرض الطريق في أجزاء أخرى كثيرة منه للجريان السيلي الموازى للطريق أو المتقاطع معه.
- **طريق بدبد - صور** : يبلغ طول الطريق ٢٦٨ كم وهو من الطرق الأقل كفاءة من حيث المسافة لارتفاع مؤشر الانعطاف الذي يبلغ ١٥٨,٦٪، ويزداد تعرج الطريق داخل وادي العق، ويتعرض أيضاً داخل الوادي لعمليات التساقط الصخري والانزلاقات الصخرية وزحف المفتتات ابتداء من قرب

قرية الداسر ولمسافة تصل إلى ٢٤ كم بالإضافة إلى خطر الجريان السطحي للوادي وروافده، ثم يتعرض الطريق لخطر الجريان السيلي من أودية عندام وسمد ونام وابراء والعز والبطحاء والعديد من روافد هذه الأودية، كما يتعرض الطريق لزحف الرمال من قرب قرية القابل وحتى الساحل.

- **طريق بدبد - نزوى** : يبلغ طول الطريق ١٠٥ كم ويمتد داخل وادي سمائل الفاصل بين جبال الحجر الغربي والشرقي، ويتعرض الطريق إلى خطر التساقط الصخري في العديد من أجزائه، بينما يظهر عليه أثر الجريان السيلي لامتداده لمسافة كبيرة داخل الوادي وتقاطعه مع روافد أودية حلفين وعز.
- **طريق نزوى - عبرى** : يبلغ طول الطريق ١٣٣ كم ويتأثر بالجريان المائى لامتداده لمسافة كبيرة داخل وادي لوسيل ويتقاطع في أجزاء أخرى مع أودية العين ووادي الكبير ووادي بهلا ووادي سيفام ووادي الأبيض.
- **طريق الرستاق - نخل - بركه** : يبلغ طول الطريق ٨٥ كم ويمتد على رواسب المراوح الفيضية للأودية في منطقة سهل الباطنة إلى أن يصل لجبال الحجر الغربي، ثم يسير داخل وادي المعاول ويتعرض في أجزائه لخطر التساقط الصخري وزحف المفتتات، كما يتعرض في أجزاء كثيرة منه للجريان السيلي من أودية الأبيض ومستل وسهتن وبنى خروص.
- **طريق صحار - البريمي** : يمتد الطريق من فلج القبائل لمسافة تبلغ ١٢١ كم داخل وادي سوق ثم وادي الجزى، ويتعرض الطريق لخطر التساقط الصخري والزحف الصخري نتيجة لعبوره جبال الحجر الغربي للوصول إلى الجهة الغربية منها، كما يتعرض لخطر الجريان السيلي لأودية الجزى وسوق وبنى عمر الغربي.



لوحة (١) توضح زحف الصخور الجيرية على السفح ، وأثر التفاوت الصخري وارتكاز الصخور الجيرية على الطفل .



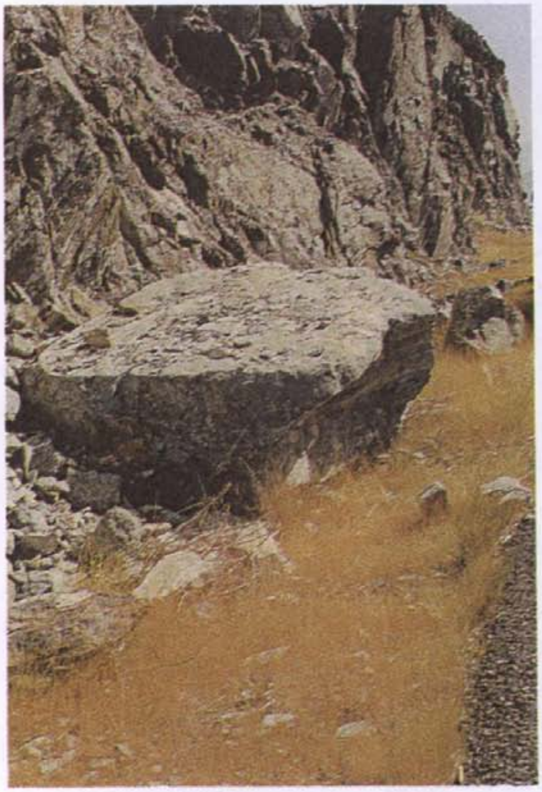
لوحة (٢) توضح أحد المباني المقاومة في نزوي ، وتظهر اللوحة مدى خطر التساقط الصخري المحتمل نتيجة لتقطيع سفوح الجبال والبناء بجوارها ، ويتكرر هذا المشهد في كثير من مناطق السلطنة .



لوحة (٣) توضح اثر ميل الطبقات وعلاقته بانحدار السفح وأثر ذلك على التساقط الصخري ، وصخور الجابرو في وادي العق على الطريق المؤدي الى الشرقية . ←

لوحة (٤) توضح التساقط الصخري في منطقة العقبة على طريق قريات وتظهر الأحجام الكبيرة للكتل الصخرية المنهارة والشباك المعدنية المقاومة لحماية الطريق من خطر التساقط . ↓





لوحة (٥) الانحدارات الرأسية على جوانب الطرق تعرضها لخطر التساقط الصخري ، وتوضح اللوحة أحجام الكتل الصخرية المتساقطة على طريق الشرقية في وادي العق . ←

لوحة (٦) انحدار رأسي على طريق الشرقية ، ويظهر أثر التساقط الصخري بجوار الطريق تماماً ، كما يظهر أثر الشقوق والفواصل في انفصال الكتل الصخرية . ↓





لوحة (٧) المفتتات الصخرية متفاوتة الأحجام الناتجة عن أثر التجوية الميكانيكية على السفوح التي تتحرك بدورها في اتجاه أسفل السفح وتعرض مستخدمي الطرق للاخطار .



لوحة (٨) الانهيارات الصخرية خلف المباني في منطقة الوطية بالعاصمة مسقط ، وقد أدت هذه الانهيارات الى الإضرار ببعض المباني .



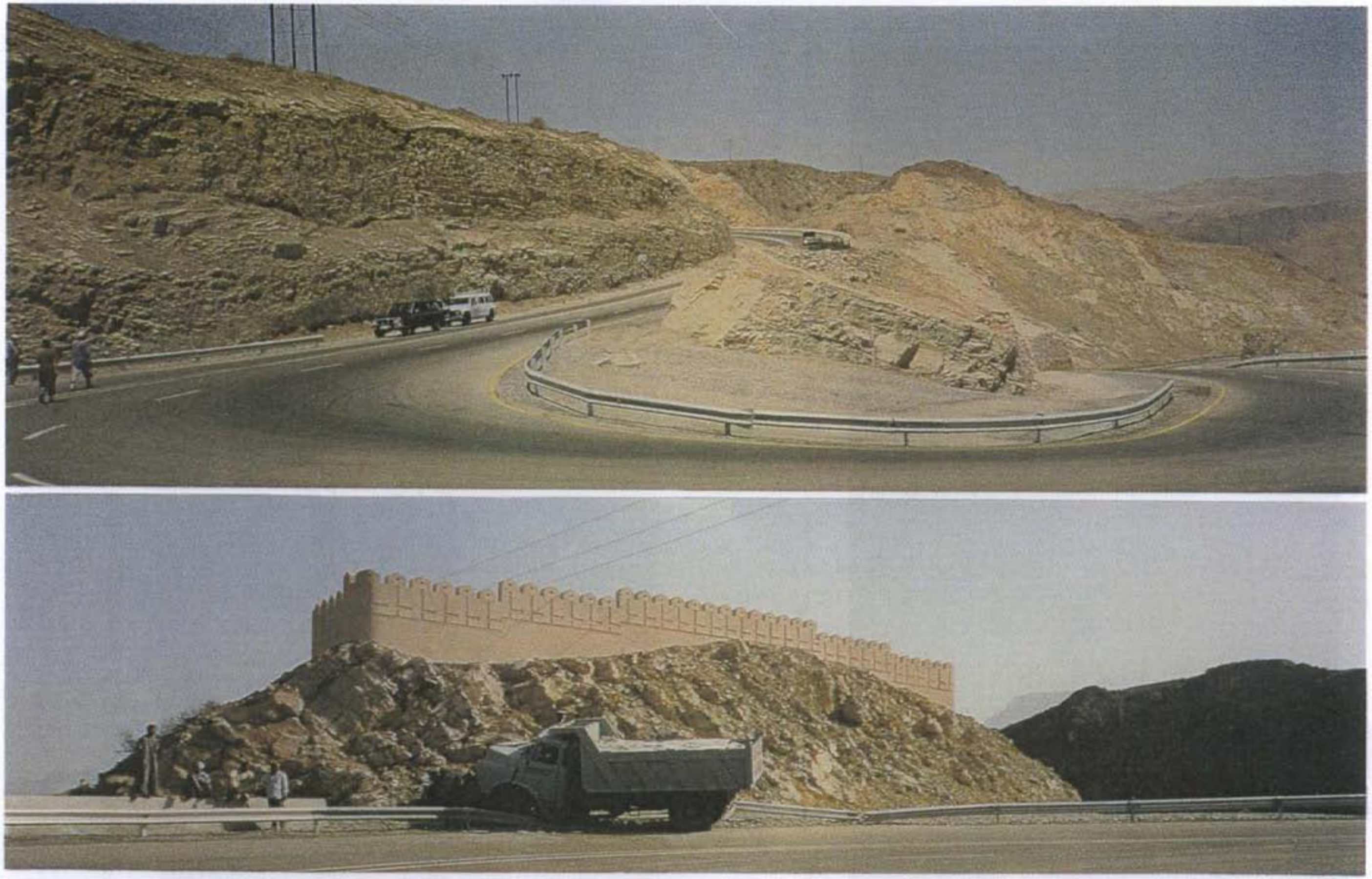
لوحة (٩) تدرج السفح لتقليل شدة الانحدار ، ويزداد عدد المدرجات كلما زاد طول السفح ، الصورة للطريق قرب فنجة .



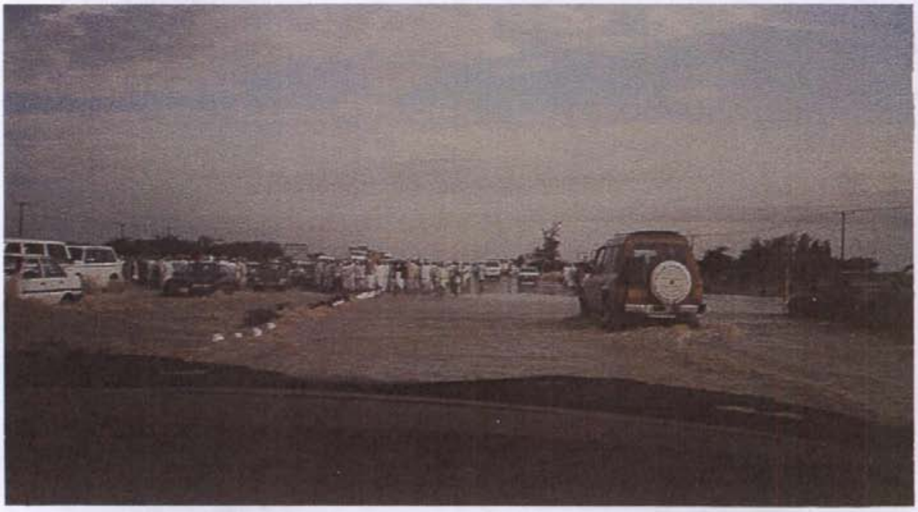
لوحة (١٠) تدرج السفح لتقليل شدة الانحدار ، وتثبيت صخور واجهته بمادة أسمنتية .



لوحة (١١) توضح الحواجز الشبكية المكعبة المليئة بالصخور ، وأبعادها متر واحد ، وتوضح في صورة هرم مدرج على جوانب الطرق على امتداد مناطق الخطورة .



لوحة (١٢) توضح منطقة العقبة على طريق قريات عند عبوره جبل أبو داوود ، وتوضح كذلك انحناء الطريق الشديد مع الانحدار مما يؤدي إلى كثير من الحوادث كما يبدو من اللوحة السفلى



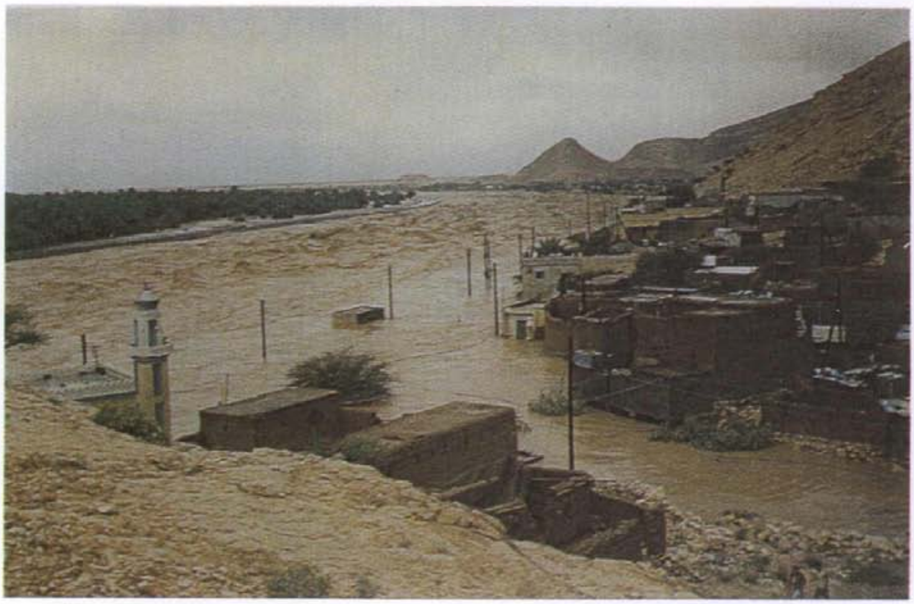
لوحة (١٣) آثار فيضان ١٩٩٨ على طريق الباطنة ، وتوضح اللوحة الفوضى التي يسببها أثناء قطع الفيضان للطرق البرية .



لوحة (١٤) نحت جوانب الطريق أثناء جريان المياه بمحاذاة الطريق في منطق الحيل أثناء فيضان ١٩٩٠



لوحة (١٥) آثار الدمار الذي أصاب مدينة صحار من جراء فيضان واديا الحلتى والصلاحي في فبراير ١٩٨٨ .



لوحة (١٦) آثار فيضان وادي ضنك على المباني والطرق في قرية ضنك عام ١٩٩٤ .

المراجع

أولاً : المراجع العربية

- احمد سالم صالح (١٩٨٩)، الأخطار الطبيعية على القطاع الشرقي من طريق نويبع / النفق الدولى، دراسة جيومورفولوجية، **المجلة الجغرافية العربية**، تصدرها الجمعية الجغرافية المصرية، العدد الحادى والعشرين، ص ص ١٤٣ - ١٧٦ .
- احمد سالم صالح (١٩٨٩)، الجريان السيلي في الصحارى - دراسة في جيومورفولوجية الأودية الصحراوية، **سلسلة الدراسات الخاصة**، **معهد البحوث والدراسات العربية**، العدد ٥١ ، القاهرة، ٩٣ ص.
- احمد سالم صالح (١٩٩٣)، السيول والتنمية في وادي فيران بجنوب سيناء دراسة تطبيقية من منظور جيومورفولوجى، **سلسلة دراسات عن الشرق الأوسط**، مركز بحوث الشرق الأوسط، العدد ١٣٢ .
- احمد سالم صالح (١٩٩٦)، أودية شمال سلطنة عمان دراسة في الجيمورفولوجيا الكمية، **مجلة قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية**، العدد ١٩١ ، الكويت ٦٤ ص.
- حسن رمضان سلامه (١٩٨٥)، اختلاف التصريف المائى للأودية الصحراوية في الأردن، **مجلة قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية**، العدد ٧٥، الكويت، ٧٧ص.
- حسن رمضان سلامه (١٩٨٣)، مظاهر الضعف الصخري وآثارها الجيمورفولوجية، **قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية**، العدد ٥٣ ، الكويت، ٥٦ص.
- حسن سيد حسن (١٩٩٢)، شبكة الطرق البرية بسلطنة عمان في الفترة من ١٩٧٠ - ١٩٩٠ ، **المجلة الجغرافية العربية**، **تصدرها الجمعية الجغرافية المصرية**، العدد الرابع والعشرون، صص ١٤١ - ١٨٤ .

- حسين محمد القلاوي (١٩٩٦)، المناخ وأثره على بعض جوانب البيئة في سلطنة عمان، **المجلة الجغرافية العربية، تصدرها الجمعية الجغرافية المصرية**، العدد الثامن والعشرون، صص ٥٩ - ١٠٨.

- خالد عبد الله باكثير (١٩٩٥)، أعمال حماية الطرق من الفيضانات وتجربة السلطنة في هذا المجال، **ورقة عمل وزارة المواصلات في مؤتمر سلطنة عمان لإدارة موارد المياه في دول المناطق الجافة ١٢-١٦ مارس ٩٥**، صص ٢٠٤ - ٢١٠.

- سعيد احمد عبده (١٩٨٩)، شبكة الطرق البرية بين المدن الرئيسية في دولة الإمارات العربية المتحدة دراسة تحليلية كمية، **المجلة الجغرافية العربية تصدرها الجمعية الجغرافية المصرية**، العدد الحادى والعشرين، صص ١٠٩ - ١٤١.

- سعيد محمد أبو سعده (١٩٨٣)، هيدرولوجية الأقاليم الجافة وشبه الجافة، **الجمعية الجغرافية الكويتية، ١٥٥ص.**

- شولتس (١٩٨٠)، سلطنة عمان، **مقدمة جغرافية لسلطنة عمان ومواردها الطبيعية وسكانها ومستوطناتها واقتصادها وتطورها الحديث**، ترجمة ويلانى وبيرنبورج، الجزء الأول، ٧٩ ص.

- فاروق عز الدين (١٩٨٩)، مشاكل التضاريس في صحراء مصر الشرقية وأثرها على الطرق البرية : دراسة كمية تحليلية، **المجلة الجغرافية العربية، تصدرها الجمعية الجغرافية المصرية**، العدد الحادى والعشرين، صص ٧٦ - ١٠٨.

- محمد الشبعان (١٩٩٣)،التوزيع الشهري للأمطار في سلطنة عمان، **وزارة موارد المياه**، صص ٣٠ - ٣٧.

- محمد توفيق سالم (بدون تاريخ)، **هندسة الطرق والمطارات، الجزء الثاني، دار الراتب الجامعية، القاهرة، ١١٣ ص.**

- محمد صبرى، محمد أرباب (١٩٩٨)، الأخطار والكوارث الطبيعية، الحدث والمواجهة معالجة جغرافية، **دار الفكر العربي، القاهرة، ٢٢٨ ص.**

- محمد صبرى محسوب (١٩٩٧)، **جيمورفولوجية الأشكال الأرضية، دار الفكر العربي، القاهرة، ٤٨٢ص.**

- محمد صبرى محسوب (١٩٩٦)، **البيئة الطبيعية خصائصها وتفاعل الإنسان معها، دار الفكر العربي، القاهرة، ٤٤٨ص.**
- محمود دياب راضى (١٩٩٢)، العلاقة بين التساقط والجريان السطحي للمياه في وادي سمائل - بسلطنة عمان، **مجلة قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية**، العدد ١٤١، الكويت ٧١ ص.
- محمود دياب راضى (١٩٩٥)، مشاهدات حقلية للتحقق من الضوابط الجيمورفولوجية للإرساب في المصبات المروحية لروافد وادي سمائل بسلطنة عمان، **سلسلة الدراسات الخاصة، معهد البحوث والدراسات العربية**، العدد ٦١، القاهرة، ٧٣ ص.
- مصطفى حاج عبد الباقى (١٩٩١)، أهمية التحليل الطبوغرافى في تخطيط المناطق الجبلية، **الندوة الجغرافية الرابعة لأقسام الجغرافيا بالمملكة العربية السعودية**، جامعة أم القرى، الجزء الأول، صص١٣٠-١٥٨.
- وزارة الاقتصاد الوطنى (١٩٩٨)، **الكتاب الإحصائي السنوي، العدد السادس والعشرون.**
- وزارة التنمية (١٩٩٧)، **الكتاب الإحصائي السنوي، العدد الخامس والعشرون.**
- وزارة موارد المياه (١٩٩٤)، **بيانات تدفق الأودية - محافظة مسقط، المجلد الأول - الفترة من ١٩٧٨ - ١٩٩٢، دائرة المياه السطحية.**
- وزارة موارد المياه (١٩٩٥)، **تقرير حول الفيضانات التي وصلت سدود التغذية الجوفية خلال الفترة من ١٥ / ١٢ وحتى ٣١ / ١٢ / ١٩٩٥ .**
- وسيم محمد على (١٩٨٧)، أهمية دراسة وتحليل العوامل الطبيعية للمشاريع الهندسية- عقبة ضلع - المنطقة الجنوبية الغربية - عسير، **الندوة الثالثة لأقسام الجغرافيا بالسعودية، جامعة الإمام، الرياض.**
- يحيى عيسى فرحان (١٩٨٥)، **مورفولوجية المنحدرات في مناطق مختارة من وسط الأردن- دراسة منهجية وتطبيقية، عمان، الأردن، ١٢٩ص.**

ثانياً : المراجع الأجنبية

- Ahmed Abd el Salam, (1999): The Natural Hazards in Al Batinah Plain Using Landsat, Oman, Arabian Gulf, 2nd International Symposium of Remote Sensing, Enschede, The Netherland, 16-20 August.
- Breton, J. P., (1997): Warning about buildings exposed to Landslides and Block - falls hazards in the Muscat area, BRGM, Working for the earth, Muscat.
- Clark M., (1990): Oman's Geological Heritage Published by Petroleum Development Oman, Stayeiy, London, p. 247.
- Cook R. U. and Doornkamp J. C., (1990): Geomorphology in Environment Management, Clarendon Press, Oxford, 410p.
- Glennie, K. W., et al., (1974): Geology of the Oman Mountains, Transactions Royal Geological and Mining Society of the Netherlands, 31, 3parts.
- Govorushko, S. M., (1999): Natural hazards: A comparative Estimation of previous studies, Forecasting and Mitigation, 2nd International Symposium of Remote Sensing, Enschede, The Netherlands, 16 - 20 August 1999.
- Graf, W. L., (1988): Fluvial Processes in Dryland Rivers, Springer - Verlag, Berlin Heidelberg, New York, p.325.
- Hanna S. (1995): Field guide to the geology of Oman, The Historical Association of Oman, Muscat, pp.178.
- Hassan Abou El-Enin (1993), Rock-Weathering in Jabal Hafit to the south Al-ain city, United Arab Emirates, Geographical Messages, Kuwait Geographical Society, Kuwait, Vol. 153, 64p.
- Lippard S., (1986): The Ophiolite of Oman, Geological Society, Blackwell Scientific Publication, Oxford, p.178.

- Maruyama, Y., (1999): A study of the SAR data application for Flood Monitoring in the Lower Reaches of the Mekong River, 2nd International Symposium of Remote Sensing, Enschede, The Netherlands, 16 - 20 August 1999.
- Miliaresis, G. C., et al., (1999): Automated Segmentation of Alluvial Fans to Region of High to intermediate Flood hazard from Landsat Thematic Mapper, 2nd International Symposium of Remote Sensing, Enschede, The Netherlands, 16 - 20 August 1999.
- Ministry of Communication (1994): Sultanate of Oman Highway Design Manual, Vol. 1, Directorate General of Roads.
- Ministry of Communication (1997): Annual Climate Summary, Directorate General of Civil Aviation and Meteorology, Department of Meteorology, Sultanate of Oman.
- Ministry of Water Resources (1995): Surface Water Department, Wadi flow Data, North Batinah Region 1983 - 1992, Vol.3.
- Ministry of Water Resources (1998): Rainfall intensities in Oman: Greatest recorded events and frequencies, Surface and Groundwater Department - Surface Water Section.
- Ministry of Water Resources (1999): Dams in Sultanate of Oman, p.83.
- Ministry of Water Resources (1999): Monitoring Network Department, 1998 Annual Water Resources Monitoring Report.
- Ministry of Water Resources. (1990): Flood study program, delineation of high, medium, low and index flood risk zones, Surface Water Department, Sohar area, Sultanate of Oman.
- Ministry of Water Resources. (1992): Flood study program, delineation of high, medium, low and index flood risk zones, Surface Water Department, Muscat area, Sultanate of Oman.

- Oldrich, H. (1998): Elements of Risk mapping for rapid Landslides, Dep. of Earth and Ocean Sciences, UBC, Vancouver, Canada, Web Sit, http://www.gndci.pg.cnr.it/wwgndci/events/egs98/hungr.htm.
- Public Authority for Water Resources (1985): Fluvial Sediment in Northern Oman, report: PAWR 85 - 15, October 1985.
- Smith, K., (1992): Environmental Hazards, Assessing Risk and Reducing Disaster, London and New York, p.324.
- Web Sit, (1999): Landscape sensitivity and change: Hazard and Mitigation, http: //www.qub.ac.uk/geosci/teaching/modules/geog/ggy203/lect4/land.html.
- Yahya Farhan (1999): Geomorphic Impacts of Highway Construction, Their Causes and Remedies: A case study from Aqaba, Southern Jordan, The Arab World Geographer, Vol. 2, N1, pp.1 - 25.
- Yahya Farhan, (1999): Landslide Hazards and Highway engineering in central and northern Jordan, Landslides, Griffiths, Stokes & Thomas, Balkema, Rotterdam, ISBN, pp. 37-45.

سلسلة أعداد الدورية لعامي ١٩٩٩-٢٠٠٠

٢٢٤- تحديد الدوائر الانتخابية لدولة الكويت باستخدام نظم المعلومات الجغرافية «دراسة في جغرافية الانتخابات»	د. جاسم محمد كرم د. جاسم محمد العلي
٢٢٥- المناخ وزراعة العنب في الطائف	د. صقر علي العمري
٢٢٦- نماذج تطور الأشكال الأرضية	د. محمد عبدالله الصالح
٢٢٧-منظومة النماذج الرياضية للرياح والعواصف الرملية	د. يحيى محمد شيخ أبو الخير
٢٨٨- النقل بالسكك الحديدية في المملكة العربية السعودية دراسة في جغرافية النقل	د. زهير عبدالله حسين مكي
٢٢٩- المدلول الجيومورفولوجي للمتغيرات المورفومترية بالحوض الهيدروغرافي لوادي الكبير الرمال	د. محمد فضيل بوروبة
٢٣٠- بعض مظاهر جغرافية الإنتاج الزراعي في سلطنة عمان	د. وفيق محمد جمال الدين إبراهيم
٢٣١- السكان ومشاريع التنمية الزراعية في مناطق أم الأرانب- الحميرة- زويلةدراسة ميدانية جغرافية في إقليم فزان (ليبيا)	د. فضل الأيوبي
٢٣٢- جمهورية كازاخستان (دراسة في الجغرافيا الإقليمية)	د. عيد سرور العتيبي
٢٣٣- تدريس نظم المعلومات الجغرافية في جامعة الملك فيصل	د. فوزي سعيد كبارة
٢٣٤- الملاح الجغرافي بيري ريس	د. فيصل عبدالله الكندري
٢٣٥- مياه الشرب في محافظة مسقط	د. وفيق محمد جمال الدين إبراهيم
٢٣٦ - المدخل الزمني لنزاعات الحدود العربية	أ. د محمود توفيق محمود
٢٣٧ - التعريف بماهية نظم المعلومات الجغرافية ومناحيها الوظيفية وتقصي أثارها في الفكر الجغرافي الإسلامي	د. محمد عبد الجواد محمد علي
٢٣٨ - نحو تعريف إجرائي للمناطق الحضرية في المملكة العربية السعودية	أ. د. أحمد جار الله الجار الله
٢٣٩- الخصائص المناخية لنماذج طقس الجفاف في المملكة العربية السعودية	د. جهاد محمد قربة
٢٤٠- الكدوات في منخفض الواحات البحرية. دراسة جيومورفولوجية	د. عبدالحميد أحمد كليو
٢٤١- مستويات المعيشة في المملكة العربية السعودية دراسة في الخصائص السكانية	د. رمزي بن أحمد الزهراني
٢٤٢- النباتات المحتطبة في المملكة العربية السعودية دراسة في الجغرافيا الحيوية وحماية البيئة	د. عبداللطيف حمود النافع
٢٤٣ - التكامل التطبيقي للتقنيات الحديثة	د. محمد الخزامي عزيز
٢٤٤- الاستخدام الامثل للمدرجات Insets على الخرائط	د. ناصر بن محمد بن سلمي
٢٤٥ - الثروة السمكية في جمهورية مصر العربية.	د. وفيق محمدجمال الدين إبراهيم
٢٤٦ - رؤية جغرافية لخصائص القوى العاملة في مصنع الحديد والصلب في المملكة العربية السعودية	د. فريال بنت محمد الهاجري

سلسلة اصدارات وحدة البحث والترجمة

١ ـ تقلبات المناخ العالمي — عرض وتعليق: أ.د. محمد صفي الدين أبو العز
٢ ـ محافظة الجهراء — أ.د. زين الدين غنيمي
٣ ـ تعدادات السكان في الكويت — د. أمل العذبي الصباح
٤ ـ أقاليم الجزيرة العربية الكتابات العربية القديمة والدراسات المعاصرة — أ.د. عبدالله يوسف الغنيم
٥ ـ أشكال سطح الأرض المتأثرة بالرياح في شبه الجزيرة العربية — أ.د. عبدالله يوسف الغنيم
٦ ـ حول تجربة العمل الميداني لطلاب الجغرافيا بجامعة الكويت — أ.د. صلاح الدين بحيري
٧ ـ الاستشعار من بعد وتطبيقاته الجغرافية في مجال الاستخدام الارضي — أ.د. علي علي البنا
٨ ـ البدو والثروة والتغير:
دراسة في التنمية الريفية للامارات العربية المتحدة وسلطنة عمان — ترجمة د. عبد الاله أبو عياش
٩ ـ الدليل البحري عند العرب — حسن صالح شهاب
١٠ ـ بعض مظاهر الجغرافيا التعليمية لمقاطعة مكة المكرمة — د. ناصر عبدالله الصالح
١١ ـ طرق الملاحة التقليدية في الخليج العربي — حسن صالح شهاب
١٢ ـ نباك الساحل الشمالي في دولة الكويت دراسة جيومورفولوجية — د. عبدالحميد أحمد كليو
د. محمد اسماعيل الشيخ
١٣ ـ جغرافية العمران عند ابن خلدون — د. عبد العال الشامي
١٤ ـ السمات العامة لمراكز الاستيطان الريفية في منطقة الباحة — د. محمد محمود السرياني
١٥ ـ جزر فرسان دراسة جيومورفولوجية — د. محمد سعيد البارودي
١٦ – جوانب من الشخصية الجغرافية للمدينة المنورة — د. محمد أحمد الرويثي

سلسلة منشورات وحدة البحث والترجمة

١- بيئة الصحاري الدافئة	ترجمة : أ . د . علي علي البنا
٢- الجغرافيا العربية ،تعريب وتحقيق: د. عبدالله يوسف الغنيم	د . طه محمد جاد
٣- مدن مصر وقراها عند ياقوت الحموي	د . عبدالعال الشامي
٤- العالم الثالث : مشكلات وقضايا	ترجمة : أ .د . حسن طه نجم
٥- التنمية الزراعية في الكويت	أ . د . محمد رشيد الفيل
٦- القات في اليمن : دراسة جغرافية	د . عباس فاضل السعدي
٧- هيدرولوجية الأقاليم الجافة وشبه الجافة	تعريب : د . سعيد أبو سعدة
٨- منتخبات من المصطلحات العربية لأشكال سطح الأرض	أ . د . عبدالله يوسف الغنيم
٩- البلدان اليمانية عند ياقوت الحموي	تحقيق القاضي إسماعيل بن علي الأكوع
١٠- المدن الجديدة بين النظرية والتطبيق	د . أحمد حسن إبراهيم
١١- الأبعاد الصحية للتحضر ترجمة :	أ . د . محمد عبدالرحمن الشرنوبي
١٢- التطبيقات الجغرافية للاستشعار من بعد : دليل مراجع	د . صبحي المطوع
١٣- قواعد علم البحر	د . حسن صالح شهاب
١٤- الانسياق الرملي وخصائصه الحجمية بصحراء الدهناء على خط الرياض ـ الدمام	مشاعل بنت محمد بن سعود آل سعود
١٥- التخطيط الحضري لمدينة الأحمدي وإقليمها الصناعي	د . وليد المنيس ـ د . عبدالله الكندري
١٦- كيف ننقذ العالم ترجمة : أ . د . علي علي البنا	أ . د . زين الدين عبدالمقصود
١٧- أودية حافة جال الزور بالكويت تحليل جيومورفولوجي	د . عبدالحميد كليو
١٨- الألواح الجيولوجية ونظمها التكتونية	ترجمة : أ . د . حسن أبو العينين
١٩- جيومورفولوجية منطقة الخيران جنوب الكويت	د . السيد السيد الحسيني
٢٠- الشوائب في تحقيق الفوائد في أصول علم البحر والقواعد	تأليف : شهاب الدين أحمد بن ماجد
٢١- التحضر في دول الخليج العربية	د . خالد محمد النعقري
٢٢- جغرافية العالم الثالث	تعريب : د . حسن طه نجم
	د . مكي محمد عزيز
٢٣- الصور الجوية ـ دراسة تطبيقية	د . خالد العنقري
٢٤- جيومورفولوجية منخفض أم الرمم بالكويت	د . عبدالحميد كليو
٢٥- جيومورفولوجية منطقة كاظمة	د . محمد إسماعيل الشيخ
٢٦- السرحات السلطانية	د . عبدالعال عبدالمنعم محمد الشامي
٢٧- اليابانيون الأمريكيون	د . عبدالله بن ناصر الوليعي
٢٨- بحار الرمال في المملكة العربية السعودية	د . عبدالله بن ناصر الوليعي
٢٩- كفاءة الري وجدولة المياه في منطقة الخرج بالمملكة العربية السعودية	د . نورة بنت عبدالعزيز آل الشيخ
٣٠- البحث الجغرافي في دولة الكويت	أ . د . عمر الفاروق السيد رجب
٣١- الطرق والمسالك الشرقية لمصر في العصر الوسيط	أ . د . عبدالعال عبدالمنعم الشامي
٣٢- تطور التعدادات السكانية بدولة الكويت	أ . د . أمل يوسف العذبي الصباح
٣٣- تغيرات مستوى سطح البحر خلال البلايستوسين وآثارها الجيمورفولوجية على طول الساحل الشرقي للبحر الأحمر	د . محمد سعيد البارودي